



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## RACIONALIZACE TECHNOLOGIE VÝROBY FOREM

RATIONALIZATION TECHNOLOGY OF PRODUCTION FORMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ KALOUS

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Ondřej Kalous

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Racionalizace technologie výroby forem**

v anglickém jazyce:

### **Rationalization technology of production forms**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor technologie výroby forem se zaměřením na vytipování problémových oblastí a návrh racionalizačních opatření v prostředí středně velké strojírenské firmy.

Cíle diplomové práce:

Úvod.

Rozbor stávajícího stavu výroby forem.

Vytipování slabých míst ve výrobním procesu a technické přípravě výroby.

Návrh racionalizačních opatření.

Ekonomické vyhodnocení.

Diskuze.

Závěr

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MMPublishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 25.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce na téma Racionalizace technologie výroby forem se skládá ze dvou částí. V první části je popsán proces vstřikování plastických materiálů a rozbor stávajícího stavu výroby vstřikovacích forem. Druhá část obsahuje návrh racionalizačních opatření ve výrobním procesu a jeho zhodnocení.

### Klíčová slova

Vstřikovací forma, plast, vstřikování plastů, frézování, elektroerozivní obrábění, kalení.

## ABSTRACT

The diploma thesis Rationalization technology of production tools is divided into two parts. The first part is focused on injection molding of plastic materials and analysis current status of production injection tools. The second part contains proposal of rationalization steps in the production process and evaluation of rationalization.

### Key words

Injection tool, plastic, injection molding, milling, electric discharge machining, hardening.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALOUS, Ondřej. *Racionalizace technologie výroby forem*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 54 s. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Racionalizace technologie výroby forem** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

\_\_\_\_\_  
Bc. Ondřej Kalous

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině a přítelkyni za podporu po celou dobu studia.

**Obsah**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
ÚVOD.....	9
1 PLASTY .....	10
1.1 Rozdělení polymerů .....	10
1.1.1. Dle makromolekulární struktury.....	10
1.1.2 Dle nadmolekulární struktury .....	11
1.1.3. Dle teplotního chování.....	11
1.1.4. Dle původu.....	11
1.1.5. Dle druhu přísad.....	12
1.2 Vlastnosti polymerů.....	12
1.2.1. Mechanické vlastnosti.....	13
1.2.2. Termodynamické vlastnosti .....	14
1.2.3. Reologické vlastnosti .....	16
1.2.4. Ostatní vlastnosti.....	16
2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ .....	17
2.1 Vstřikovací proces .....	18
2.2 Vstřikovací stroje .....	20
2.3 Vstřikovací formy .....	22
3 FORMPLAST PURKERT S.R.O.....	24
4 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	25
4.1 Konstrukce formy .....	25
4.1.1 Násobnost formy.....	26
4.1.2 Smrštění .....	27
4.1.3 Vtoková soustava .....	27
4.1.4 Temperační systém .....	27
4.1.5 Vyhazovací systém .....	28
4.1.6 Odvzdušnění .....	28
4.2 Frézování .....	29
4.3 Tepelné zpracování .....	32
4.4 Elektroerozivní obrábění.....	34
4.4.1 Elektroerozivní hloubení.....	34
4.4.2 Elektroerozivní řezání .....	39

5 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ.....	42
5.1 Vakuová kalící pec firmy Seco/Warwick .....	43
5.2 Vakuová kalící pec firmy Schmetz .....	44
5.3 Vakuová kalící pec firmy Rübig .....	46
5.4 Výběr varianty racionalizace procesu .....	47
6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	48
6.1 Náklady na racionalizaci procesu .....	48
6.2 Předpokládané výnosy z vybrané varianty .....	48
6.3 Doba návratnosti investice .....	49
7 DISKUZE .....	50
ZÁVĚR .....	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	51
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	54



## 9 ÚVOD

V současné době se s plastovými výrobky setkáváme každý den a ve všech průmyslových odvětvích. Zmínky o prvním použití polymerů pocházejí přibližně z poloviny 19. století. Za poslední desítky let zaznamenal proces zpracování a použití polymerů velký pokrok. Jedním z hlavních důvodů použití plastů je nahrazení klasických materiálů (kovy, sklo, keramika dřevo). Mezi jejich výhody patří především tepelná a elektrická izolace, malá měrná hmotnost, snadná zpracovatelnost a odolnost vůči korozi. V současnosti se nejvíce plastových dílů vyskytuje v elektrotechnickém a automobilovém průmyslu. Ve výrobě automobilů tvoří plasty až 15% celkové hmotnosti automobilu.

Nejvýhodnější a nejčastěji používanou metodou pro zpracování plastů je technologie vstřikování. Základem technologie je vstřikovací lis a vstřikovací forma pro určitý typ plastového dílu. Zpracováváný polymer je roztaven v komoře lisu a vstříknut do dutiny kovové formy. Po ztuhnutí polymeru je vytvořen díl většinou finálního tvaru. Vstřikovací cyklus je ve většině případů rychlý a lze ho plně automatizovat. V posledních letech jsou na proces vstřikování kladeny vysoké požadavky z hlediska vzhledové kvality a rozměrové přesnosti.

Vstřikovací forma je poměrně složitý nástroj, který musí odolat vysokým vstřikovacím tlakům a zvýšeným teplotám. Jedná se sestavu ocelových desek a ostatních komponent, které společně tvoří zařízení pro výrobu plastových dílů.



Obr. 1 Ukázka plastových výrobků v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu [19].

## 1 PLASTY

Plasty jsou makromolekulární látky, které vznikají polyreakcemi. Základem každého plastu je polymer, ke kterému jsou přidány přísady a plniva. Mezi přísady se řadí např. maziva, pigmenty a separátory. Plniva mají funkci vyztužení finálního dílu. Plasty jsou materiály, které je možné tvářet do požadovaného tvaru teplotou a tlakem [1], [2], [5], [19].

### 1.1 Rozdělení polymerů

Polymery se mohou dělit dle mnoha kritérií např. podle struktury, teplotního chování, původu atd. [5].

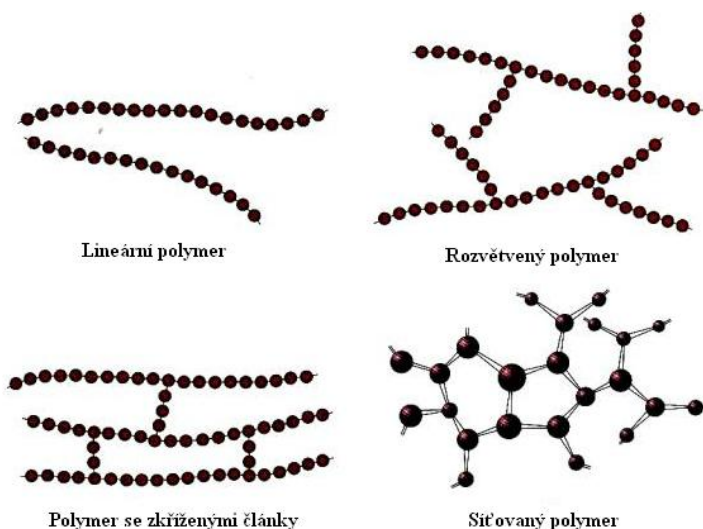
#### 1.1.1. Dle makromolekulární struktury

**Lineární polymery** – monomery tvoří jeden hlavní řetězec, ve kterém jsou řazeny za sebou [1], [5], [19].

**Rozvětvené polymery** – monomery tvoří hlavní řetězec, ze kterého vystupují další vedlejší větve. [1], [5], [19].

**Polymery se zkříženými články** – sousední řetězce jsou vázány články pomocí silné kovalentní vazby [1], [5], [19].

**Síťované polymery** – vznikají síťováním lineárního nebo rozvětveného polymeru. Síťované polymery mají nejlepší mechanické vlastnosti [1], [5], [19].



Obr. 2 Makromolekulární struktura polymerů [1]

### 1.1.2 Dle nadmolekulární struktury

**Amorfní polymery** – řetězce se nachází v neuspořádaném stavu. Mezi výhody patří možnost transparentního provedení [5], [19].

**Semikrystalické polymery** – vykazují určitou uspořádanost. Podíl mezi uspořádanou a neuspořádanou oblastí vyjadřuje krystalinita. Při maximálním možném uspořádání mohou semikrystalické polymery dosáhnout až 80% krystalinity. Charakteristické vlastnosti jsou pevnost a houževnatost [5], [19].

### 1.1.3. Dle teplotního chování

**Termoplasty** – tvoří nejpoužívanější skupinu materiálů pro vstřikování plastů. Hlavní výhodou termoplastů je možnost materiál opakovaně roztavit do plastického stavu po jeho ochlazení a přitom teoreticky nedochází k degradaci jejich vlastností a ke změnám chemické struktury. V praxi však při několikanásobném roztavení a ochlazení materiálu dochází ke zhoršování vlastností vlivem vzdušného kyslíku. Mezi termoplasty se řadí materiály jako polyamid, polypropylen, polyvinylchlorid, polyetylén atd. [4], [5], [19].

**Reaktoplasty** – oproti termoplastům u reaktoplastů během zahřívání probíhá nevratná chemická reakce, při které dochází k prostorovému zesíťování struktury tedy vytvrzování. Ochlazený reaktoplast není možné následně znovu roztavit a dále používat. Na rozdíl od termoplastů mají reaktoplasty tvarovou stálost za tepla, vysokou tvrdost a tuhost a teplotní odolnost. Díky těmto vlastnostem se často používají pro elektroizolační součásti. Nevýhodou je obtížnější tekutost. Do skupiny reaktoplastů patří např. epoxidové pryskyřice, polyesterové a fenolformaldehydové hmoty atd. [4], [5], [19].

**Kaučuky, pryže, elastomery** – po zahřátí jsou také tvařitelné pouze však po omezenou dobu. Poté dochází k zesíťování struktury materiálu jako u reaktoplastů. Proces se nazývá vulkanizace [4], [5], [19].

### 1.1.4. Dle původu

**Přírodní polymery** – vznikly z přírodních makromolekulárních látek. Mezi přírodní polymery se řadí např. celulóza, přírodní kaučuk, škrob, latex, kasein atd. [4], [5].

**Syntetické polymery** – vznikly za pomoci chemických reakcí. Do skupiny syntetických polymerů patří dehet, ropa, uhlí atd. [4], [5].

### 1.1.5. Dle druhu přísad

**Nevyztužené** – vlastnosti polymerů nejsou ovlivněny přísadami [5], [19].

**Vyztužené** – přísady a plniva ovlivňují vlastnosti jejich vlastnosti [5], [19].

#### **Příklady použitých přísad a plniv:**

UV stabilizátory – zvyšují odolnost proti stárnutí vlivem UV záření.

Barviva – přidáním barviva do transparentního polymeru se dosahuje požadované barvy finálního dílu. Barvivo se přidává při výrobě materiálu nebo až při samotném procesu vstřikování.

Retardéry hoření – používají se pro snížení hořlavosti polymeru.

Maziva – výrazně pomáhají lepšímu odformování ze vstřikovacího nástroje.

Změkčovadla – na úkor tvrdosti a tuhosti zlepšují tažnost a houževnatost.

Nukleační činidla – zkracují čas výroby zvýšením rychlosti krystalizace.

Plniva – zlepšují fyzikální a mechanické vlastnosti finálního plastového dílu. Existují plniva vyztužující, částicová a nanoplňiva [4], [5], [19].

### 1.2 Vlastnosti polymerů

V současné době existuje velké množství plastů s různými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Velkou roli na vlastnosti plastů hraje teplota a způsob zpracování.

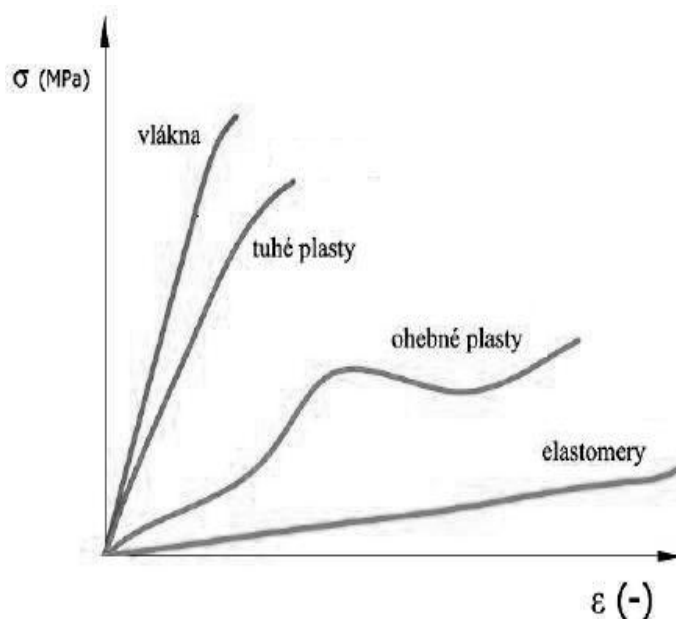
Mezi největší výhody plastů patří snadná zpracovatelnost po jejich zahřátí. Dále jejich nízká měrná hmotnost, korozní odolnost, tlumí rázy a jsou dobrými tepelnými a elektrickými izolanty. Existují i takové plasty, které svými mechanickými vlastnostmi dosahují vlastností kovů. Oproti kovům mají plastové díly mnohem nižší hmotnost, na což je v dnešní moderní výrobě kladen velký důraz.

Velkou nevýhodou plastů je závislost mechanických vlastností na přírodních vlivech a čase. Čím delší je doba používání plastových výrobků, tím více se mechanické vlastnosti zhoršují [2], [3], [19].

### 1.2.1. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti polymerů závisí na chemickém složení, velikosti a tvaru molekul, nadmolekulární struktuře, teplotě a čase [4].

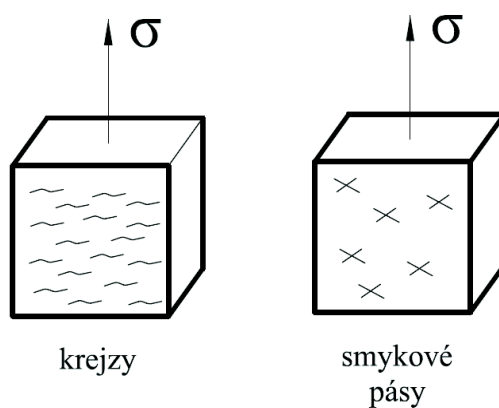
Při protahování dosahují elastomery velkých deformací. Ohebné plasty nemají tak lineární charakter jako elastomery, ale vykazují nižších deformací. Nejmenší deformace mají tuhé plasty a vlákna. Polymery se deformují při vyšší rychlosti deformace, vyšší teplotě a vyšším napětí. Deformace je viskoelastická nebo plastická. Při nízké teplotě a nízkém napětí se polymery chovají jako ideálně elastické. Podle typu namáhání a vlastností polymeru se plastická deformace dělí na dvě skupiny: krejzy a smykové pásy [3], [19].



Obr. 3 Závislost napětí – deformace [3]

Krejzy – vznikají z důvodu nečistot, defektů a povrchových vad. Směr trhlin je vždy orientován kolmo na tahovou sílu.

Smykové pásy – vznikají při namáhání ve smyku [4].

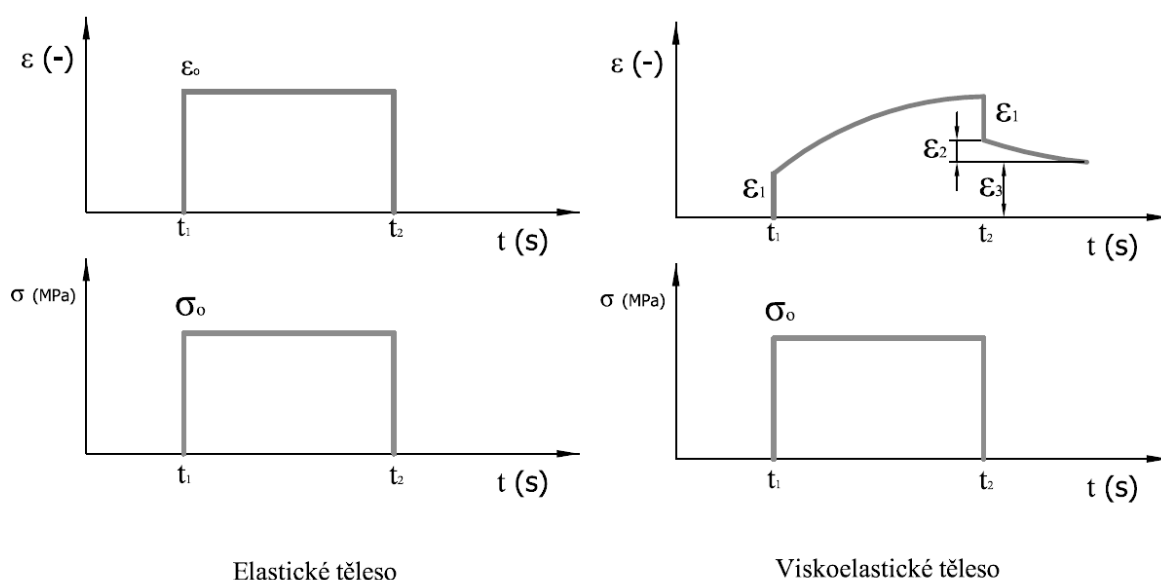


Obr. 4 Tvary typů plastických deformací [4]

Chování polymerů na základě mechanických vlastností je popisováno teorií lineární viskoelastivity. Teorie pracuje s dvěma modely – ideální elastické těleso a viskoelastické těleso. Rozdíly mezi chováním elastického a viskoelastického tělesa popisuje obr. 5 [3], [4], [19].

Ideální elastické těleso – deformace se projeví okamžitě bez zpoždění časové změny. Při působení napětí  $\sigma_0$  nabývá deformace  $\varepsilon_0$  okamžité hodnoty a nemění se s časem. Deformace zmizí, když přestane působit napětí  $\sigma_0$  [3], [4], [19].

Viskoelastické těleso – deformace se vždy projeví v závislosti na čase. Po působení napětí  $\sigma_0$  v čase  $t_1$  se projeví okamžitá deformace  $\varepsilon_1$ , která v závislosti na čase roste až na hodnotu  $\varepsilon_c$ . Napětí přestane působit v čase  $t_2$  a deformace klesne o  $\varepsilon_1$ . Následně deformace klesne o  $\varepsilon_2$ . Když přestane působit napětí  $\sigma_0$ , deformace zůstane na hodnotě  $\varepsilon_3$  [3], [4], [19].



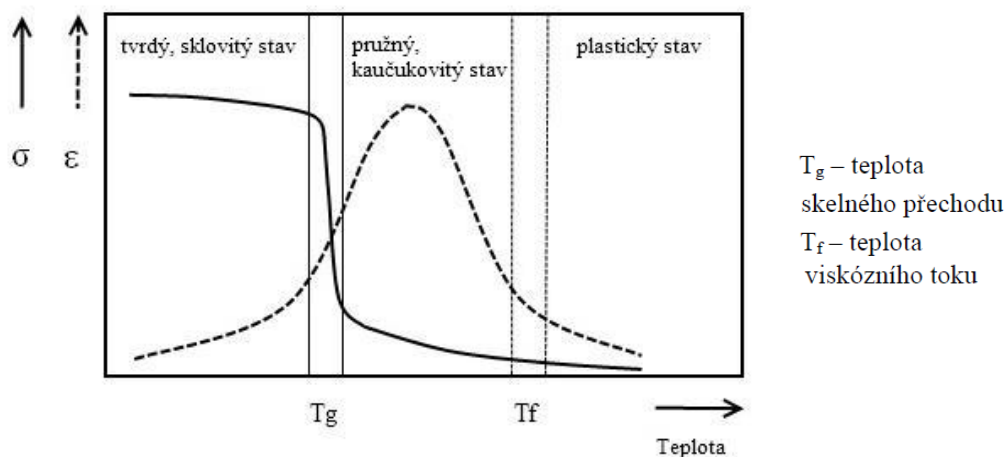
$\varepsilon_1$  – okamžitá pružná deformace  
 $\varepsilon_2$  – zpožděná pružná deformace (časově závislá)  
 $\varepsilon_3$  – trvalá deformace vzniklá viskózním tečením

Obr. 5 Časová závislost deformace ideálně elastického a viskoelastického tělesa [3]

### 1.2.2. Termodynamické vlastnosti

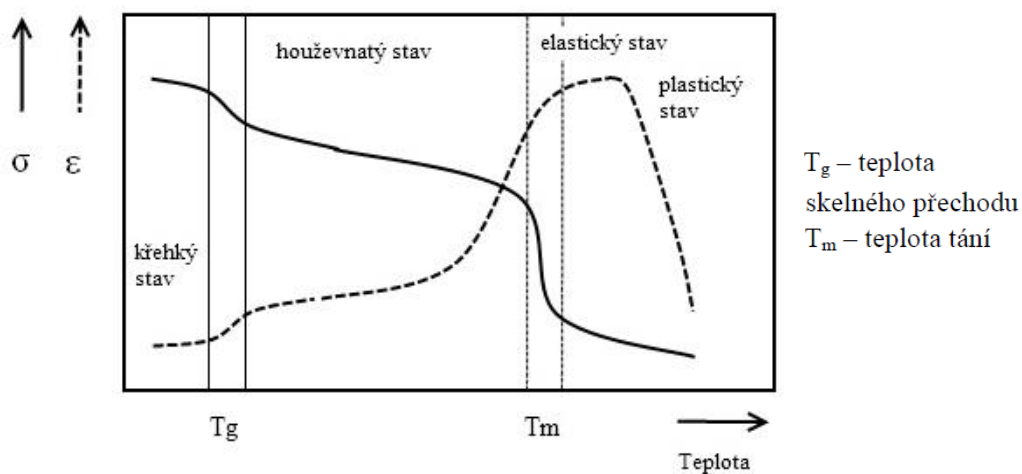
Teplota je hlavní fyzikální veličina, na které jsou závislé vlastnosti polymerů. Vlastnosti polymerů se v přechodových oblastech skokově mění. V závislosti na přechodových oblastech se rozlišují tři přechodové teploty  $T_g$ ,  $T_f$ ,  $T_m$  [3], [19].

Hodnota meze pevnosti v tahu a poměrné deformace se skokově mění v přechodové oblasti skelného přechodu  $T_g$ . Hodnota teploty  $T_g$  závisí na velikosti mezimolekulárních sil a také na pružnosti řetězců. Teplotu skelného přechodu je možné upravit za pomoci změkčovadel. Nejnižší hodnotu  $T_g$  mají semikrystalické polymery. Výrazná změna přichází při teplotě viskózního toku  $T_f$ . Materiál ztrácí kaučukovité vlastnosti a stává se viskózní kapalinou. Při této teplotě se plasty začínají zpracovávat. Jednotlivé průběhy jsou zobrazeny na obr. 6 a obr. 7 [3], [5], [19].



Obr. 6 Průběh deformačních vlastností amorfního polymeru [5]

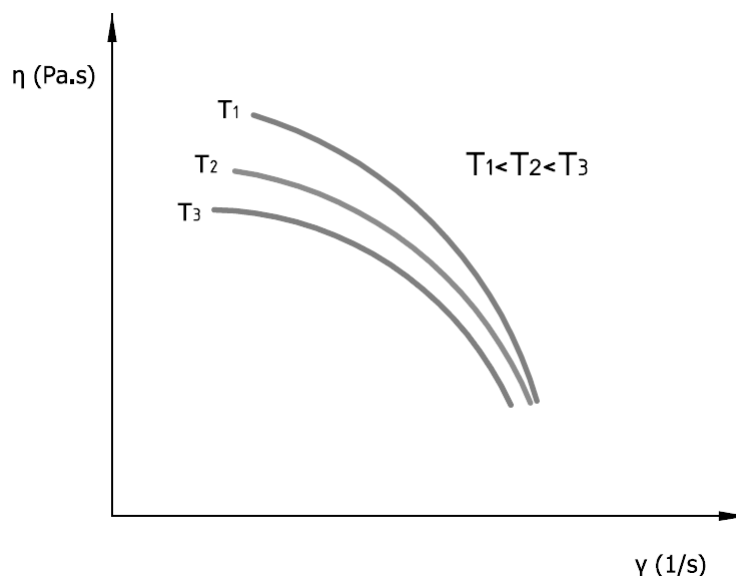
U semikrystalických polymerů dojde k největším změnám při teplotě tání  $T_m$ . Při teplotě  $T_m$  dochází k rozpadu struktury a materiál se stává kapalným. Rozpad struktury probíhá v určitém intervalu, kde  $T_m$  je jeho střední hodnotou. Při teplotě  $T_g$  dochází ke změně vlastností polymeru. Jedná se ale pouze o amorfní složky materiálu [3], [5], [19].



Obr. 7 Průběh deformačních vlastností semikrystalického polymeru [5]

### 1.2.3. Reologické vlastnosti

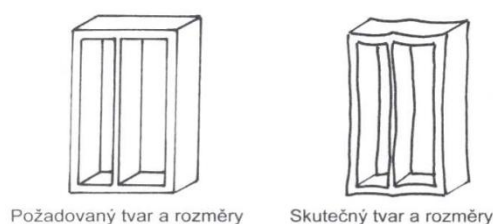
Reologické vlastnosti jsou tokové vlastnosti polymerů, které jsou velice důležité při jejich zpracování. Pro vyjádření reologických vlastností se používá viskozita. Základním vztahem pro popsání reologických vlastností je použit vztah pro Newtonovské kapaliny, který vyjadřuje závislost mezi smykovým napětím  $\tau$  a rychlostí smykové deformace  $\dot{\gamma}$   $\Rightarrow \tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ . Závislosti popisuje obr. 8 [3], [5].



Obr. 8 Viskózní křivky [5]

### 1.2.4. Ostatní vlastnosti

Smrštění – je definováno jako objemová změna polymeru při jeho tuhnutí. Při konstrukci vstřikovacího nástroje hraje smrštění polymeru výraznou roli a zároveň je závislé na dalších faktorech. Mezi nejdůležitější patří např. dotlak nástroje, teplota nástroje a tloušťka stěny vylisku. Špatně zvolené smrštění ukazuje obr. 9 [9].



Obr. 9 Ukázka špatně zvoleného smrštění při konstrukci nástroje pro plastovou krabíčku [9]

Elektrické vlastnosti - polymery jsou řazeny do skupiny izolantů a jsou zcela nevodivými materiály. Nevodivost způsobuje omezená pohyblivost elektronů a iontů. Izolační vlastnosti mohou být zhoršeny přidáním některých přísad. Příkladem je grafit [3], [9].

Degradace a stárnutí - postupem času dochází u polymerů ke změně jejich struktury. Proces se nazývá stárnutí polymerů. Pokud se ke změně struktury polymeru přidá ještě změna vlastností, jedná se o degradaci polymeru, což je pro finální výrobek nepříznivé [3], [9].



## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Vstřikování je nejpoužívanější technologický proces zpracování plastů. Během vstřikování se nejvíce zpracovávají termoplasty, v menší míře také reaktoplasty a elastomery. Jedná se o technologii tváření, při které se do formy vstříkne roztavený plast. Ten následně vychladne a z formy získáme požadovaný výrobek. Technologie vstřikování plastů se většinou používá pro získání finálního výrobku. Jedná se o jednodušší technické dílce, ale také o tvarově složité, rozměrově a tvarově velmi přesné díly. Mimo finální výrobky na čisto se technologie vstřikování plastů využívá pro vstřikování plastů, které jsou následně pokoveny. Dále pro zastříkování zálisků a také pro vícekomponentní vstřikování plastů, což umožňuje na jednom výlisku kombinovat zcela odlišné materiály nebo různě barevné materiály. Obr. 10 ukazuje možné varianty využití technologie vstřikování plastů [3], [4], [5], [19].

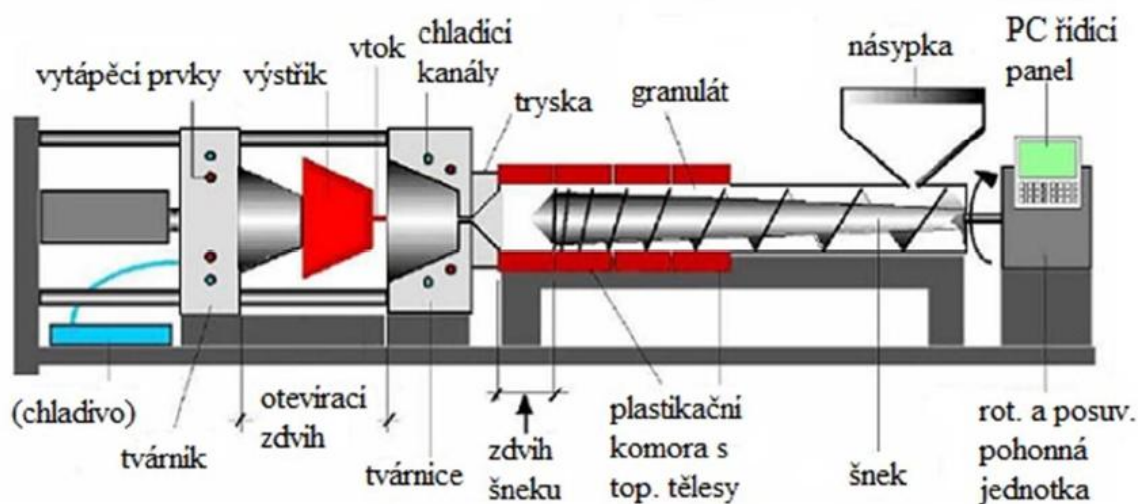


Obr. 10 Ukázka použití technologie vstřikování plastů [20]

## 2.1 Vstřikovací proces

Jedná se o technologický proces, kdy se granulát za pomoci vstřikovacího stroje a vstřikovacího nástroje mění na finální výlisek. Vstřikování je nejpoužívanější proces zpracování plastů. Konečné výrobky se vyznačují rozměrovou a tvarovou přesností.

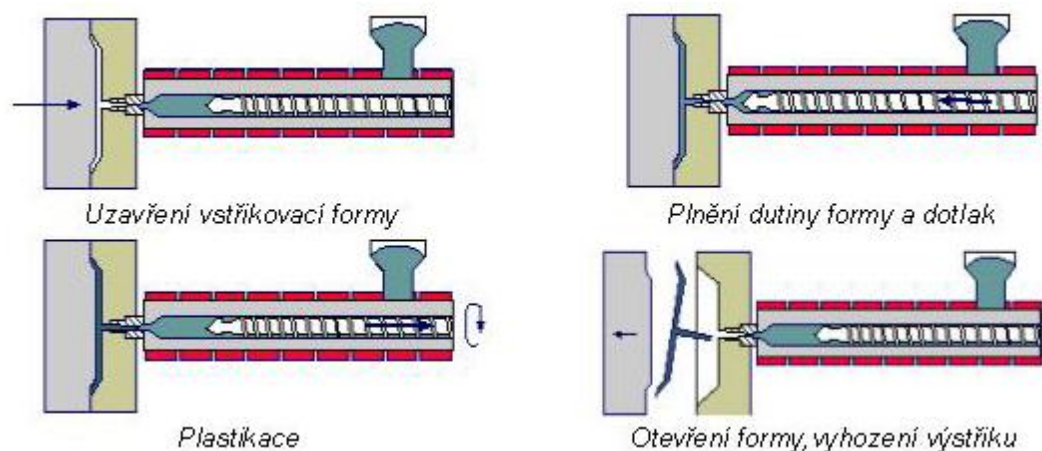
Výhodou vstřikování plastů je krátký výrobní cyklus. U menších dílů se jedná max. o desítky sekund a u větších dílů o jednotky minut. Nevýhodou jsou vysoké náklady na vstřikovací stroj a vstřikovací nástroj. Technologie vstřikování se proto využívá pro sériovou výrobu, která je většinou plánovaná na několik let, a náklady na vstřikovací nástroj jsou rozpuštěny do ceny finálního výlisku. Princip vstřikování ukazuje obr. 11 [3], [4], [5].



Obr. 11 Princip vstřikování plastů [5]

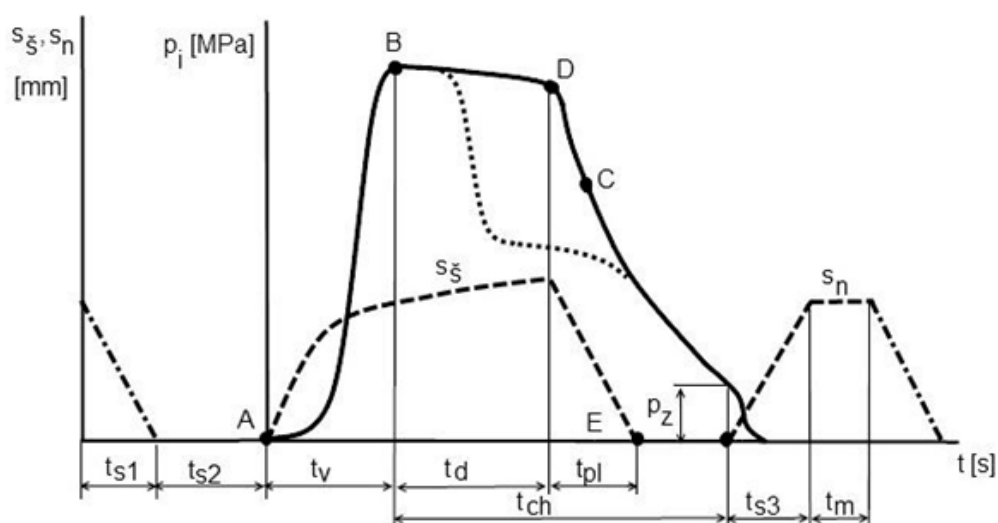
Proces vstřikování začíná vsypáním granulátu materiálu do násypky nebo nasátím granulátu z centrálního rozvodného systému, přičemž velice záleží na vlhkosti materiálu. V podstatě všechny granuláty musí být před zpracováním sušeny na určitou vlhkost, která je stanovena výrobcem granulátu.

Z násypky je granulát odebírán pomocí šneku do plastikační (tavící) komory. V plastikační komoře dochází k roztavení granulátu vlivem zahřívání a tření. Takto roztavený plast je přes trysku za pomoci pohybu šneku vstříknut do uzavřené formy. Dutina formy je zcela zaplněna roztaveným plastem. Vlivem smrštění plast při chladnutí zmenšuje svůj objem. Proto následuje tzv. dotlak, kdy je do dutiny formy doplněn materiál do finálního objemu dílce. Pomocí chladicího systému, který tvoří většinou vodní kanály, je výlisek přes stěny nástroje chlazen. Po ztuhnutí výlisku je nástroj otevřen, výrobek je pomocí vyhazovacího systému vyhozen z nástroje a celý cyklus se opakuje. Cyklus plnění dutiny formy ukazuje obr. 12.



Obr. 12 Plnění dutiny formy [5]

Vstřikovací cyklus je tvořen řadou přímo stanovených kroků a plast během nich prochází tlakovými a teplotními změnami. Cyklus vstřikování může být také definován jako závislost tlaku ve vstřikovacím nástroji na čase. Závislost je zobrazena na obr. 13 [5].



$s_{\xi}$  – pohyb šneku,

$s_n$  – pohyb nástroje (formy),

$t_{s1}$  – doba uzavírání formy,

$t_{s2}$  – doba přisouvání vstřikovací jednotky k formě,

$t_{s3}$  – doba otevírání formy,  $t_{pl}$  – doba plastikace,

$t_m$  – doba otevření formy,  $t_{ch}$  – doba chlazení,

$t_v$  – doba vstřikování,

$t_d$  – doba dotlaku,

$p_i$  – vnitřní tlak,

$p_z$  – zbytkový tlak

při otevírání formy,

A – začátek vstřikování, B – konec plnění formy, C – začátek dotlaku, D – konec dotlaku,

E – konec plastikace (pohybu šneku), F – začátek pohybu formy

Obr. 13 Průběh vnitřního tlaku  $p_i$  [5]

Před samotným vstříknutím plastu do dutiny je forma na vstřikovacím lise prázdná a otevřená. Za začátek cyklu lze považovat čas, kdy stroj dostane impuls. Následně dojde k pohybu pohyblivé části formy. Lis zavírá formu silou  $F_p$  za časový úsek  $t_{s1}$ . K uzamknutí formy je potřebná síla  $F_u$ , která je přibližně 3 krát větší než síla  $F_p$  [5].

V bodu A začne šnek vykonávat dopředný pohyb a přes trysku vstřikuje roztavený plast do dutiny nástroje. Mezi body B a D probíhá dotlak, v tomto místě je dosažena nejvyšší hodnota tlaku během celého procesu vstřikování. Křivka  $s_s$  zobrazuje pohyb šneku a křivka  $s_n$  pohyb nástroje [5].

## 2.2 Vstřikovací stroje

Vstřikování plastů probíhá na moderních vstřikovacích strojích. V současné době existuje řada výrobců vstřikovacích strojů např.: Arburg, Engel, Battenfeld, Demag, Krauss Maffei, Invera atd.

Celý proces vstřikování je většinou částečně nebo plně automatizovaný pomocí manipulátorů, dopravníků, separátorů, dávkovacích zařízení a sušících zařízení. Vzhledem k pořizovací ceně samotného vstřikovacího stroje, vstřikovací formy a různého příslušenství se proces vstřikování používá převážně pro sériovou a hromadnou výrobu [5].



Obr. 14 Vstřikovací stroje společnosti Engel a Arburg [6], [21]

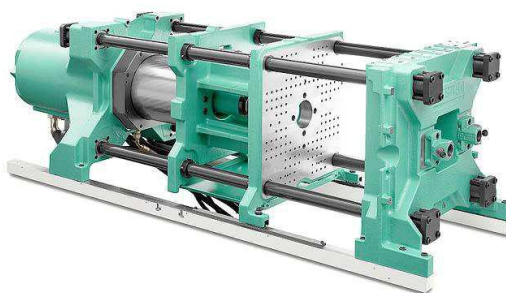
Volba vstřikovacího stroje hraje velkou roli na výrobu vstřikovací formy a následně na kvalitě finálního výrobku. Musí být zabezpečena dostatečná vstřikovací a přidržovací síla a vstřikovací tlak. S ohledem na konstrukci nástroje jsou důležité rozměry mezi sloupky stroje, prostor pro upnutí nástroje a dostatečné otevření pracovního prostoru stroje. Každý vstřikovací stroj se skládá z 3 hlavních částí – vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka a řídicí systém.

Vstřikovací jednotka stroje slouží ke dvěma úkolům. Prvním je přeměna plastového granulátu na taveninu, kdy plast v podobě granulátu je vsypán do násypky. Následně se dostane do tavicí komory, kde je taven pomocí tepla ze stěn ohřívacího válce a třecím teplem z pohybu šneku. Druhým úkolem vstřikovací jednotky je vstříknutí roztaveného granulátu do uzavřené dutiny formy. Vstřikovací jednotky se dělí na pístové a šnekové podle použitého způsobu posunu materiálu. Pístové jednotky se používali od počátku vstřikování plastů přibližně do poloviny minulého století. Z důvodu nízké účinnosti a velké spotřeby energie byly pístové jednotky nahrazeny šnekovými [5].



Obr. 15 Šneková vstřikovací jednotka [5].

Úkolem uzavírací jednotky je uzavírat a otevírat vstřikovací formu a během vstřikovacího procesu přidržovat obě poloviny nástroje takovou silou, aby nedošlo k jejich otevření. Podle konstrukce se uzavírací jednotky dělí na hydraulické, mechanické, elektrické a kombinované. Každá jednotka je složena z opěrné desky, která je pevně spojena se strojem a pohyblivé desky, kde je upnuta pohyblivá část nástroje. Schéma uzavírací jednotky je zobrazeno na obr. 16 [5].

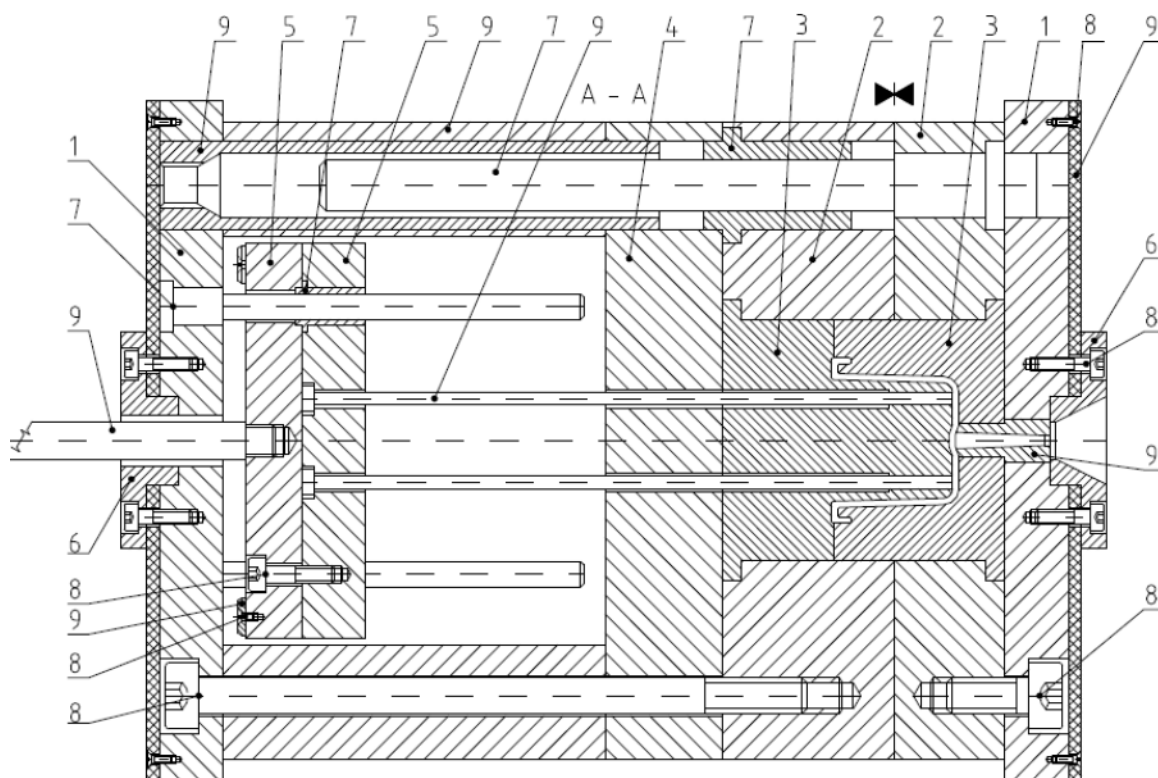


Obr. 16 Schéma uzavírací jednotky [21]



### 2.3 Vstřikovací formy

Vstřikovací nástroj (forma) je nezbytnou součástí procesu vstřikování plastů. Forma je výměnnou součástí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Dle tvaru finálního výlisku existuje nepřeberné množství forem od jednoduchých pro technické výrobky až po technicky velmi komplikované nástroje se stovkami dílčích součástí pro tvarově složité dílce. Vstřikovací forma je velmi komplexní zařízení, které musí umožnit vyrobit rozměrově a tvarově přesné dílce a zároveň odolávat vysokým tlakům vstřikovacího stroje. Součástí každé vstřikovací formy je vtokový systém, temperanční (chladicí) systém a vyhazovací systém, upínací a vodící elementy a základem nástroje je vlastní tvarová dutina, která kopíruje tvar požadovaného výlisku [5], [7], [19].



1 upínací desky, 2 kotevní desky, 3 tvarové vložky, 4 opěrná deska, 5 vyhazovací desky,  
6 středící kroužky, 7 vodící součásti, 8 spojovací součásti, 9 další součásti

Obr. 17 Řez vstřikovací formou [7].

V dnešní době jsou na výrobu vstřikovacích nástrojů kladeny vysoké nároky. Nástroj musí zajistit požadovanou tvarovou a rozměrovou přesnost výlisku a jeho snadné vyjmutí z formy. Dále je kladen důraz na automatizovaný provoz a snadnou obsluhu formy. Naproti těmto faktům je stále požadováno zkrácení doby na výrobu nástroje a snížení nákladů. Vstřikovací formy se dělí dle několika hledisek [5], [7] :

Dle počtu dutin - jednonásobné,  
- vícenásobné.

Dle typu vstřikovacího stroje - vstřikování do osy,  
- vstřikování do dělicí roviny.

Dle uspořádání vtoku - dvoudeskové,  
- třideskové,  
- s horkým vtokem.

Dle konstrukce - jednoduché,  
- čelist'ové,  
- s výsuvnými jádry,  
- vyšroubovávací,  
- etážové.

Dle vstřikovaného materiálu - pro termoplasty,  
- pro reaktoplasty,  
- pro elastomery [5], [7].

### 3 FORMPLAST PURKERT S.R.O.

Společnost Formplast Purkert s.r.o. vznikla v roce 1992 jako konstrukční kancelář pro vstřikovací nástroje a jejich součásti. Postupným růstem se dostala do současné podoby, kdy zaměstnává přibližně 250 zaměstnanců [26].



Obr. 18 Formplast Purkert s.r.o. [26]

Firma se zabývá konstrukcí a výrobou sériových i prototypových vstřikovacích forem. Dále lisováním přesných, technických a vzhledových dílů pro elektrotechnický a automobilový průmysl. Vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích s uzavírací silou 35 – 900 tun. V poslední době je výroba směřována na velice přesné dílce, optické a pokovené dílce, které jsou součástí předních světlometů automobilů. Pokovení je prováděno na 2 pokovovacích zařízeních. Jedná se o Leybold - PylonMet VXL a Leybold – CompactMet 1500. Obr. 19 ukazuje některé plastové výrobky zmíněné firmy [26].



Obr. 19 Ukázka plastových výrobků společnosti Formplast Purkert s.r.o. [26]



## 4 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY

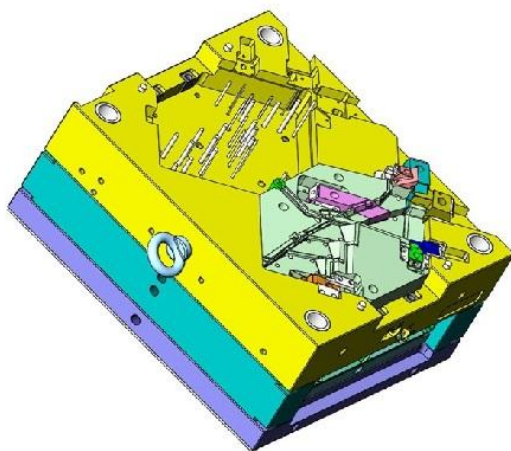
Výroba vstřikovacích forem má podstatný význam na poli současné strojírenské výroby, zvláště v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Výroba začíná od konstrukce nástroje, která se odvíjí od poskytnutých dat zákazníka. Následně dle zpracovaných dat postupně přes hrubování, vrtání děr, CNC obrábění, broušení, elektroerozivní obrábění a finální montáž vzniká vstřikovací nástroj.

### 4.1 Konstrukce formy

Konstrukční dokumentace je základem ve výrobě jakékoli vstřikovací formy a zpracovává se na základě 2D a 3D dat požadovaného výlisku. V popisované společnosti se pro konstruování vstřikovacích nástrojů používá software SolidWorks. I přesto, že každý nástroj je svým způsobem originální, je nutné dodržet obecné zásady pro konstrukci vstřikovacích forem.

- Kontrola výkresu součásti s ohledem na tvar a umístění vtoku, zaformování, určení dělicí roviny a vyrobitelnost dle požadovaných tolerancí,
- uspořádání tvarových dutin v nástroji a jejich vlastnosti,
- volba vhodného temperovacího a vyhazovacího systému nástroje a způsobu odvodu vzduchu,
- volba vhodného materiálu nástroje s ohledem na technologické podmínky vstřikování.

V závislosti na stále se zkracující době na výrobu vstřikovacího nástroje je možné využít řady typizovaných částí, které zrychlí proces výroby. Jedná se především o typizované rámy forem a horké trysky. Na obr. 20 je zobrazená částečná konstrukce formy.



Obr. 20 Konstrukce vstřikovacího nástroje v programu SolidWorks

#### 4.1.1 Násobnost formy

Násobnost formy se určuje ze dvou hledisek. Prvním je celková velikost nástroje z důvodu nutnosti upnout formu na plánovaný vstřikovací stroj. Dále je také potřeba přihlídnout k vlastnostem vstřikovacího stroje, který musí disponovat dostatečnou vstřikovací kapacitou a uzavírací silou pro navržený počet dutin nástroje. Druhé hledisko je spojeno s ekonomikou firmy a vychází z požadované roční produkce výlisků z daného nástroje. Na počet dutin ve formě má také velký vliv tvar a velikost výlisku. U jednoduchých a technických dílů není problém uplatnit vícenásobné nástroje. Naopak u pohledových a rozměrných dílů se většinou uplatňuje výroba jednonásobných forem. Špatný návrh násobnosti formy má za následek nízkou rentabilitu během sériové výroby nebo provozní nespolehlivost nástroje. Zjednodušeně lze násobnost formy vypočítat dle vztahu dle vztahu 4.1 [19].

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{T_p \cdot K_v \cdot 3600} \quad (4.1)$$

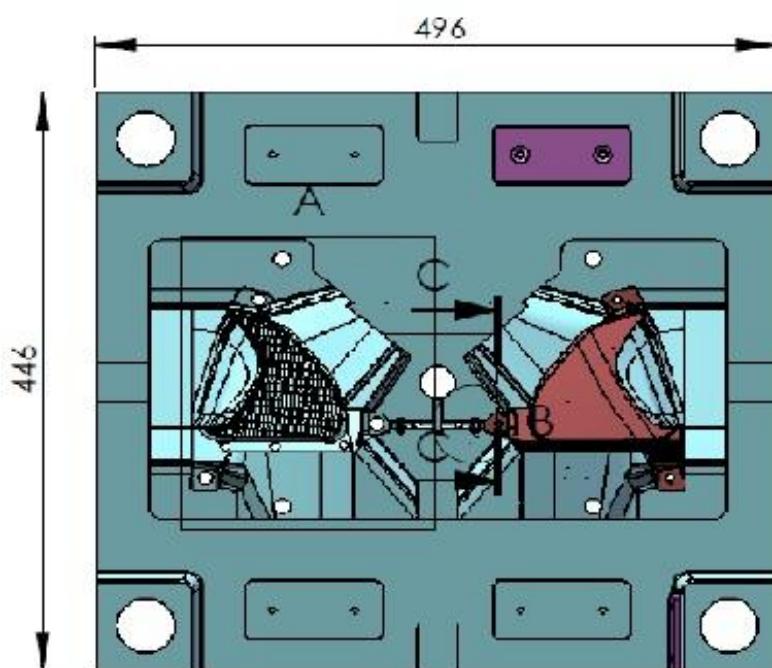
kde:

$N$  [ks] - velikost výrobní série

$T_p$  [hod] - požadovaný termín dodání

$K_v$  – faktor využití času,  $K = 0,7-0,9$

$t_c$  [s] – celkový čas vstřikování



Obr. 21 Ukázka dvounásobné vstřikovací formy

#### 4.1.2 Smrštění

Vlivem chladnutí plastu v dutině nástroje dochází ke smršťování výlisku, které je udáváno v procentech. Smrštění ovlivňuje struktura polymeru, teplota nástroje, tvar a tloušťka stěn výlisku. V praxi to znamená, že při konstrukci nástroje musí být dutina nástroje větší než požadovaný výlisek právě o hodnotu smrštění. Jednotlivé hodnoty smrštění předepisují výrobci granulátů. Často se stává, že během výroby nástroje si přeje zákazník změnit materiál finálního výlisku, což přináší řadu nepříjemností. Pokud je to možné, tak se formy konstruují s možností změny velikosti tvarové dutiny – tvárníku a tvárnice [5], [19].

#### 4.1.3 Vtoková soustava

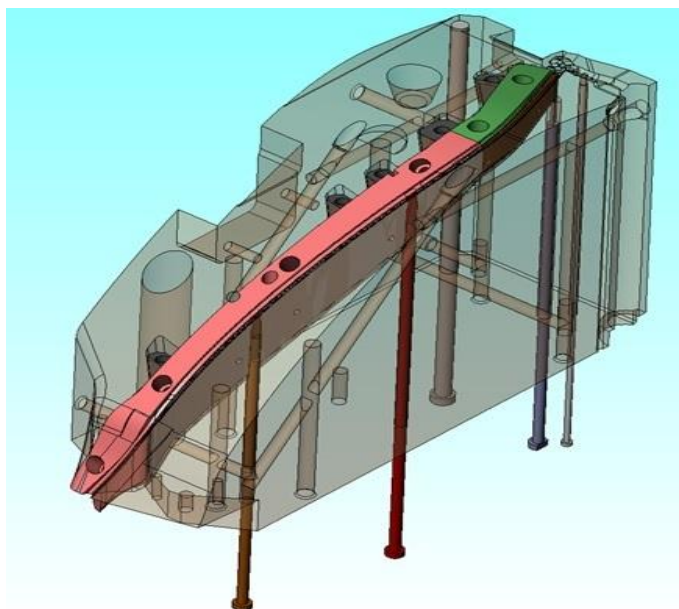
Nedílnou součástí vstřikovací formy je vtoková soustava. Jedná se o systém kanálů a ústí vtoku, které zabezpečují správně plnění dutiny formy roztaveným plastem. Vtoková soustava je navrhována s ohledem na počet dutin nástroje, požadované kvality výlisku a zda se bude jednat o studený nebo horký vtok. V zásadě se vtoková soustava konstruuje tak, aby plnění formy proběhlo v co nejkratším čase a nejkratší cestou a zároveň s co nejmenšími teplotními a tlakovými ztrátami. U vícenásobných nástrojů se dutiny plní soustavou vtoku do hvězdy nebo v řadě [5], [19].

#### 4.1.4 Temperační systém

Jedná se o soustavu kanálů uvnitř nástroje, která slouží k udržení stále teploty formy během procesu vstřikování. Roztavený plast do formy přináší velké množství tepla, které je potřeba z nástroje odvést, k čemuž slouží právě temperační soustava. Existují některé druhy plastů, které vyžadují zpracování za velkých teplot. Při výrobě z těchto materiálů je temperační systém využíván k ohřevu nástroje nikoli k chlazení. Také před zahájením procesu vstřikování je nástroj zahřán na provozní teplotu pomocí temperační soustavy. Při navrhování temperance formy musí být brán zřetel na to, aby vzdálenost kanálů byla dostatečná od hlavní tvarové dutiny a nesnižovala její pevnost a tuhost. Obecně platí, že je lepší použít více tenkých chladících kanálů než méně kanálů s větším průměrem [5], [19].

#### 4.1.5 Vyhazovací systém

Z důvodu smršťování výlisků a následného ulpívání v nástroji je třeba zajistit vysunutí nebo vyhození plastového dílu z formy. K tomuto účelu ve formě slouží vyhazovací elementy. Proces vyhazování se skládá ze dvou fází – dopředný pohyb, kdy dojde k vyhození výlisku a zpětný pohyb, kdy se vyhazovací elementy vrací do své původní polohy. Výlisek musí být z nástroje vyhozen rovnoměrným pohybem, v opačném případě dochází k jeho deformaci. V určitých případech tvoří vyhazovací elementy součást tvaru výlisku nebo slouží k výrobě funkčních ploch výlisku. Vyhazovače se dělí na mechanické a vzduchové. Mezi mechanické patří kolíkové vyhazovače (nejpoužívanější), stírací deska, stírací kroužek a trubkové vyhazovače [5], [19].



Obr. 22 Vyhazovací systém nástroje pro výrobu světlovodu

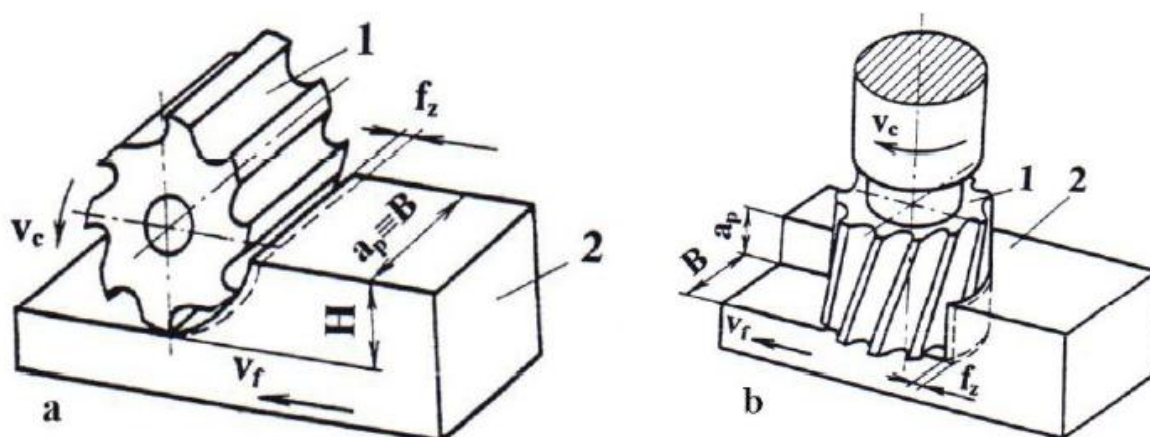
#### 4.1.6 Odvzdušnění

Při vstřikování roztaveného plastu do nástroje dochází ke stlačování přítomného vzduchu, což je velmi nepříznivé. Stlačený vzduch bývá tlakem zažehnut a následně se pálí vstřikovaný plast. Při menším tlaku vzduch vniká do taveniny a tvoří ve výlisku nepříznivé bubliny. Odvzdušnění je obvykle provedeno pomocí drážky kolem tvarové dutiny nebo v dělicí rovině nástroje [5], [19].

## 4.2 Frézování

Frézování patří mezi nejpoužívanější obráběcí operace. Při výrobě vstřikovacích forem má významnou roli ze dvou důvodů – frézování rovinných ploch a frézování tvarových ploch. Frézování je metoda, kdy materiál obrobku je odebírán vícebřitým nástrojem, který se nazývá fréza. Hlavní pohyb při frézování koná nástroj – fréza. Dnešní moderní frézování se dokáže v některých fázích výroby vyrovnat soustružení a proto je možné frézováním obrábět otvory a dutiny. Velkým přínosem jsou také vyměnitelně břitové destičky, které přispěly ke zvýšení produktivity, kvality a spolehlivosti [8], [9].

Z technologického hlediska se frézování dělí na válcové frézování – frézování obvodem frézy a čelní frézování – frézování čelem frézy. Oba typy frézování ukazuje obr. 23 [8], [9].



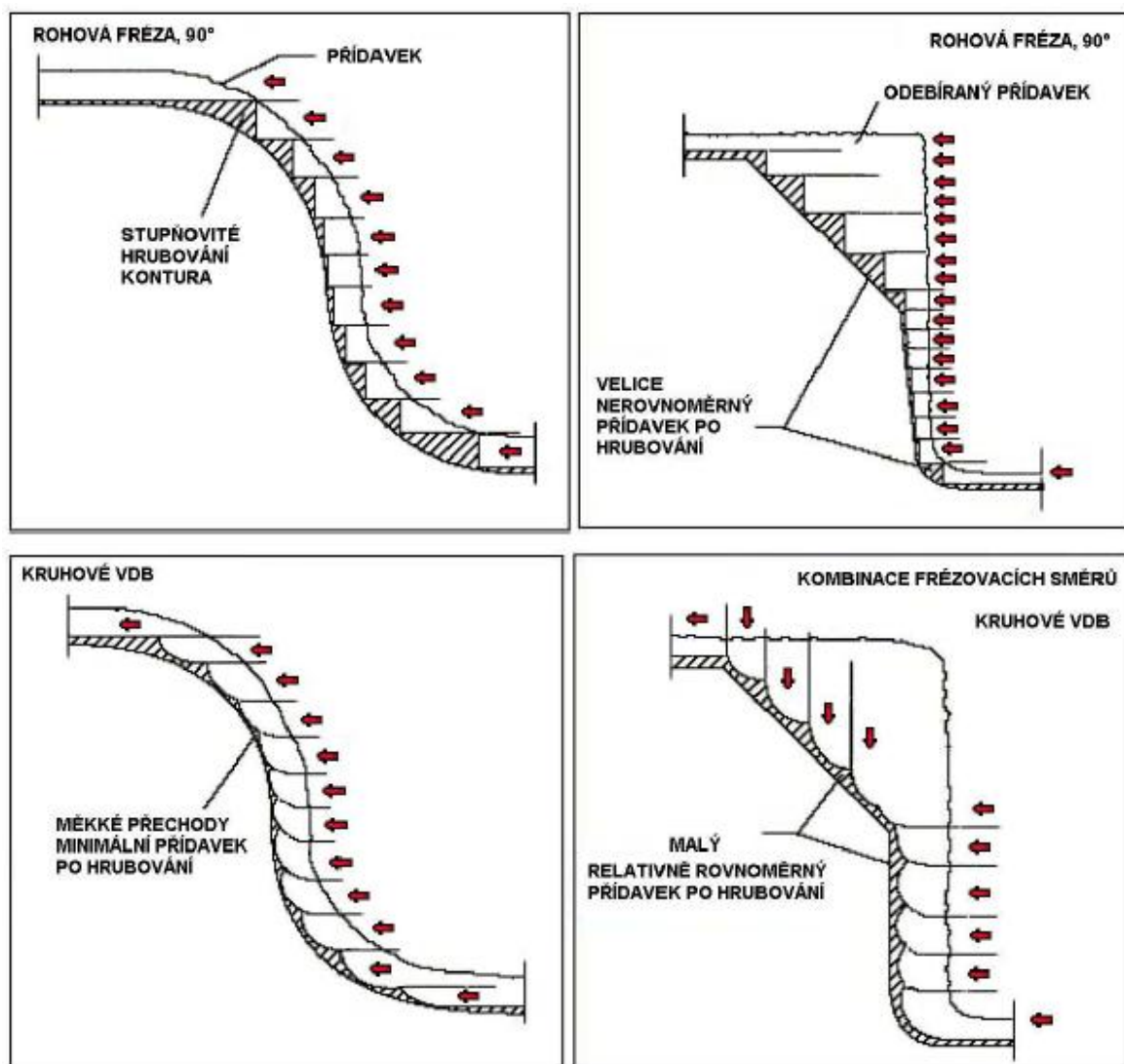
a – válcové frézování, b – čelní frézování  
 1 – fréza, 2 – obrobek,  $a_p$  – šířka záběru ostří,  $B$  – šířka frézované plochy,  
 $H$  – hloubka odebírané vrstvy,  $v_f$  – posuvová rychlost,  $f_z$  – posuv na zub,  $v_c$  – řezná rychlost.

Obr. 23 Typy frézování [9]

Při válcovém frézování jsou zuby nástroje pouze na obvodu frézy. Dle kinematického hlediska obráběcího procesu se válcové frézování dělí na sousledné a nesousledné. Při sousledném frézování fréza rotuje stejným směrem jako se pohybuje obrobek. Během nesousledného frézování fréza rotuje opačným směrem, než se pohybuje obrobek. Při čelním frézování jsou zuby nástroje umístěny na obvodu i na čele frézy. Jedná se o nejpoužívanější způsob frézování [8], [9].

Ve firmě Formplast tvoří frézování hlavní proces ve výrobě vstřikovacích nástrojů. Ze zakoupených polotovarů materiálu vznikají pomocí frézování první části forem. Jedná se o proces hrubování, kdy je odebírán největší objem materiálu za co nejkratší čas a polotovary materiálu se přibližují požadovanému tvaru. Nejdříve se jedná o úhlování materiálu, následně hrubování vlastního tvaru, hrubování vtoku a hrubování dělicí roviny.

Jako ve všech firmách je i zde kladen důraz na celkové zdokonalování hrubovací technologie, aby se celkové tvary po hrubování co nejvíce přiblížily finálním požadavkům a tím tak odpadl větší počet dokončovacích operací. K přiblížení se co nejvíce finálnímu tvaru kontury se používá nástroj se zaobleným tvarem břitu. Hrubování je nejčastěji realizováno pomocí frézovacích hlav a výměnných břitových destiček. Příklady hrubovacích postupů zobrazuje obr. 24.



Obr. 24 Příklady typů hrubování [18]



Výroba základních tvarů a dutin je realizována na moderních CNC frézkách, které jsou řízeny CAM systémy. CAM systémy poskytují možnost naprogramovat celý výrobní proces CNC frézky. Ve firmě Formplast se k programování používá software Powermill. Do programu je nahrán 3D model jednotlivých částí nástroje. Pracovník poté zpracuje program, kde jsou obsaženy jednotlivé kroky a dráhy všech použitých nástrojů. CNC frézka má vlastní řídicí systém, který umožňuje převést program z Powermill do takového formátu, kterému rozumí a může s ním dále pracovat. Jednotlivá dostupná obráběcí centra ve firmě jsou zobrazeny na následujících obrázcích.



Obr. 25 Obráběcí centrum Mikron HSM 500 [12]



Obr. 26 Obráběcí centrum Hermle C40 [10]



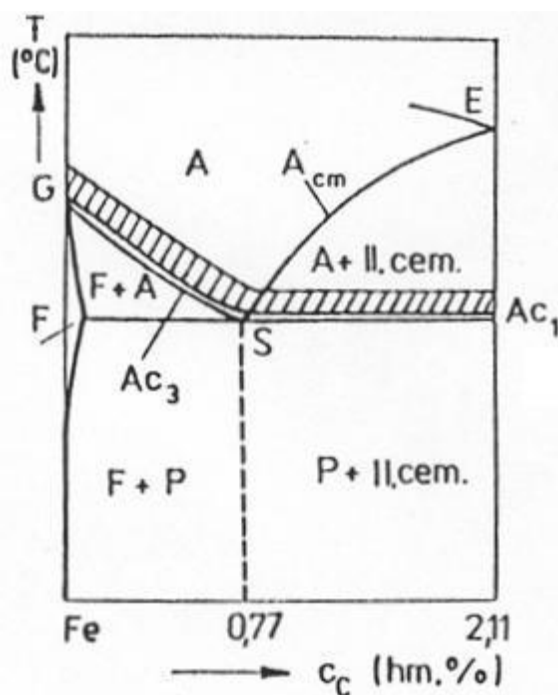
Obr. 27 Obráběcí centrum Mikron VCE 1600-PRO [11]

#### 4.3 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování je nedílnou součástí procesu výroby vstřikovacích forem. Po hrubování tvaru na příslušném polotovaru s přídavkem 0,2 mm na dokončení je nutné provést tepelné zpracování materiálu ke zvýšení jeho tvrdosti a houževnatosti. Nejprve je provedeno kalení a následně popouštění ke zvýšení houževnatosti [13], [14].

Tvrdost oceli při kalení je zvyšována vytvořením částečně nebo zcela nerovnovážné struktury. Proces kalení je složen z ohřevu na austenizační teplotu, výdrž na této teplotě a následně rychlé ochlazení oceli. Rychlost ochlazování by měla být vyšší než je kritická rychlost, aby nedocházelo k nepříznivým přeměnám. U podeutektoidní oceli se jedná o teplotu  $30 \div 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nad  $A_{C3}$  a u nadeutektoidní oceli se jedná o teplotu nad  $A_{C1}$ , což ukazuje obr. [13], [14].





Obr. 28 Pásma kalících teplot v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C [13]

Hned po procesu kalení je provedeno popouštění. Základem popouštění je ohřev na určitou teplotu, která nesmí překročit teplotu  $A_{C1}$ . Dále výdrž na stanovené teplotě a následně ochlazení na teplotu okolí. Cílem popouštění je odstranění vnitřních pnutí v materiálu po kalení. Současně dochází ke snížení tvrdosti, ale také ke zvýšení houževnatosti a materiál se tak stává méně křehkým [13], [14].

Firma Formplast se v současné době kalením nezabývá. Veškeré součásti pro výrobu vstřikovacích forem, které musí být tepelně zpracované, se dopravují do společnosti CZECHMETAL s.r.o. Tato varianta přináší řadu výhod i nevýhod. Nespornou výhodou je zcela jistě fakt, že se Formplast nemusí starat o proces kalení a zpět do nástrojárny se dostanou již správně tepelně zpracované polotovary, které je možné dále zpracovávat.

Z objemu celé vstřikovací formy tvoří tepelně zpracované části přibližně 20%, což představuje velké množství jednotlivých dílů. V některých případech je forma tvořena monobloky oceli, které se musí zakalit celé. Procento zakalených částí tak prudce stoupá. Firma Formplast ročně vyrobí cca 90 ks vstřikovacích forem, z čehož vyplývá, že tepelně zpracovaných součástí je obrovské množství.

Proces tepelného zpracování včetně dopravy tam a zpět trvá přibližně 5 pracovních dní. Tento fakt příliš nenahrává stále se zkracující požadované době na výrobu vstřikovací formy. V současné době se jedná o nejslabší místo v procesu výroby vstřikovacích forem v popisované společnosti.

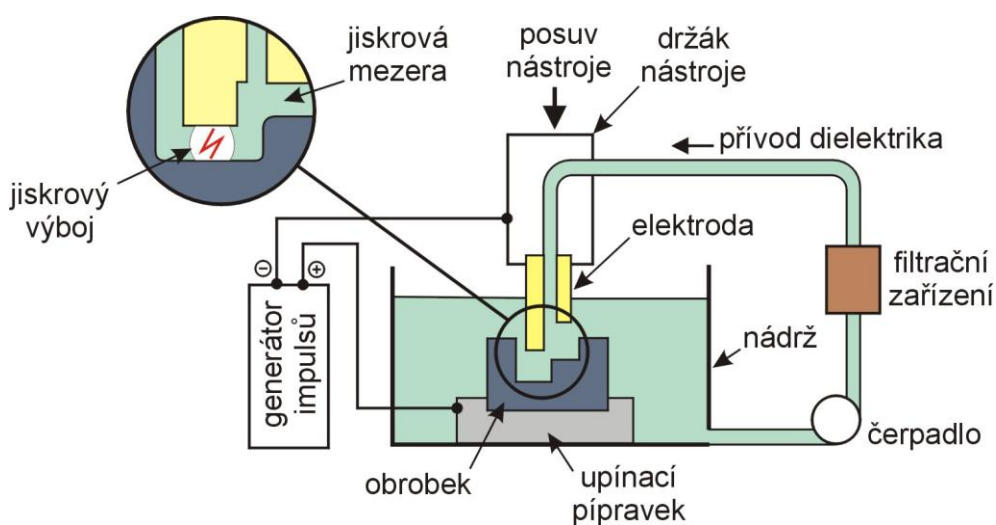
#### 4.4 Elektroerozivní obrábění

Jedná se o nejpoužívanější nekonvenční způsob obrábění. Na rozdíl od klasických technologií, kdy je proces obrábění prováděn pomocí mechanické energie, je u elektroerozivního obrábění základem elektrická energie. Podstatou jsou rychle se opakující impulsy jiskrového výboje v kapalném médiu – dielektrikum. Elektroerozivní obrábění se dle technologických možností dělí na hloubení (EDM – Electric Discharge Machining) a řezání (WEDM - Wire Electrical Discharge Machining) [15], [16].

##### 4.4.1 Elektroerozivní hloubení

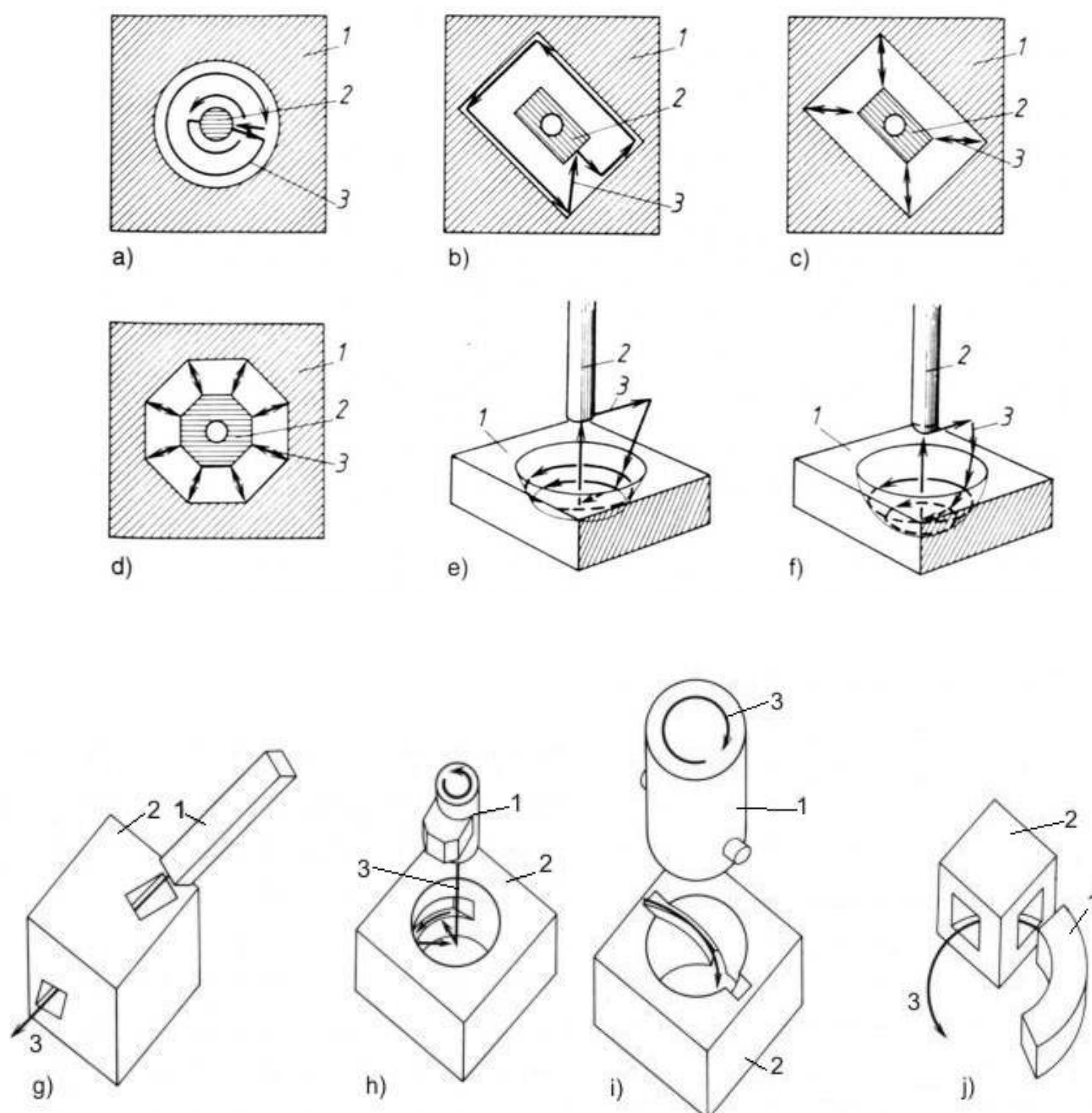
Je nejpoužívanější typ metody elektroerozivního obrábění. Využití nachází především při výrobě tvarových dutin vstřikovacích forem, zárustek a tvarů, kterou jsou obtížně vyrobitelné nebo nevyrobitelné ostatními metodami. Touto metodou hloubení je možné obrábět všechny vodivé materiály a zároveň nezáleží na jejich mechanických vlastnostech. Materiály obrobené metodou elektroerozivního hloubení vykazují velice dobrou kvalitu povrchu [15], [16].

Princip hloubení je založen na základě fyzikálního procesu, kdy při vzniku elektrického výboje dochází k úběru materiálu. Elektrický výboj vzniká mezi katodou a anodou tedy mezi obrobkem a nástrojem. Odpad, který vzniká při tomto typu obrábění, je v podobě malých částic odplavován pomocí dielektrika. Princip elektroerozivního hloubení ukazuje obr. 29 [15], [16].



Obr. 29 Princip elektroerozivního hloubení [15]

Princip hloubení pomocí elektroeroze spočívá v posunu nástroje proti obráběnému materiálu. Velký vliv na celý proces má jiskrová mezera mezi nástrojem a obrobkem. Ta musí mít stále stejnou velikost mezi 0,01 mm až 0,5 mm. Nástroj (elektroda) je negativem finální obrobkové plochy a pomocí elektrojiskrového výboje se kopíruje do obrobku. Příklad výroby tvarových dutin vstřikovacího nástroje ukazuje obr. 30 [15], [16].



1 – elektroda, 2 – obrobek, 3 – pohyb elektrody

a) kruhové, b), c) obdélníkové, d) osmihranné, e) kuželové, f) kulové, g) průchozí nekruhová díra, h) uzavřená drážka, i) drážka ve šroubovici, j) díra ve tvaru kruhového oblouku

Obr. 30 Výroba jednotlivých tvarů elektroerozivní metodou  
a různými pohyby elektrody [15]

Na bezproblémový průběh elektroeroze má velký vliv pracovní kapalina – dielektrikum. Dielektrické prostředí je nevodivé nebo polovodivé. Pracovním prostředím bývá olej, petrolej, vzduch, solné roztoky a vodní sklo. Dielektrikum působí jako ionizátor mezi elektrodami. Dále se stará o odvod tepla z pracovního prostoru a odvádí odebrané částice z místa elektrického výboje. Dalším úkolem dielektrika je zabránit usazení uhlíku a mikročástic na nástrojové elektrodě, kde by docházelo ke zkratům. Z těchto důvodů je na výběr dielektrika kladen velký důraz a pracovní kapalina by měla splňovat následující požadavky [16]:

- Zabezpečení nutné vzdálenosti mezi elektrodami, aby vznikl elektrický výboj,
- Nízká viskozita a dobrá smáčivost, pro obnovu izolace po výboji,
- Dielektrické prostředí musí být chemicky neutrální, aby zamezovalo vzniku koroze,
- Důležitá je vysoká teplota hoření, aby nemohlo dojít ke vzplanutí.
- Prostředí musí dostatečně ochlazovat elektrody,
- Nesmí podléhat chemickým změnám, musí být stálá a snadno dostupná [16].

Nástrojová elektroda je negativem obráběné tvarové dutiny formy. Ve většině případů je nástrojová elektroda vyráběna speciálně, proto náklady na výrobu elektrod tvoří většinovou část při procesu hloubení. Z technického hlediska právě elektrody určují rozměrovou přesnost dutiny a jakost povrchu. Největší množství nástrojových elektrod je vyráběno frézováním nebo soustružením [15],[16].



Obr. 31 Ukázka plastového výlisku a nástrojové elektrody pro jeho tvar [18].

Důležitým faktorem při návrhu elektrody je materiál, ze kterého bude vyrobena. Materiál se volí dle typu obráběného polotovaru, použitého stroje a opotřebení nástroje. Materiály na výrobu elektrod jsou kovové (elektrolytická měď, ocel, mosaz, slitina chromu a mědi, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra), nekovové (grafit) a kombinované (kompozice grafitu a mědi). Tabulka 1 zobrazuje vhodnost určitých materiálů pro výrobu nástrojových elektrod [15],[16].

Tabulka 1 Materiály pro výrobu nástrojových elektrod [8].

Grafit	Nejčastěji používaný materiál. Snadno se obrábí, vykazuje dobré charakteristiky opotřebení a je málo citlivý na tepelné výkyvy. Při hrubování se opotřebení elektrody pohybuje kolem 1 % a při dokončování mezi 5 ÷ 10 %. Díky své hmotnosti lze z grafitu vyrábět rozměrné elektrody.
Měď	Vykazuje stejné charakteristiky opotřebení jako grafit. Mědí lze obrábět veškeré karbidy. Drsnost obrobeného povrchu je lepší než $Ra = 0,5\mu m$ .
Měď – wolfram, stříbro - wolfram	Jsou to nákladné materiály. Podíl wolframu se pohybuje v rozmezí 50 až 80 %, z čehož plyne nízké opotřebení elektrody. Materiál je křehký. Použití - obrábění hlubokých drážek, oceli, slinutých karbidů a karbidů wolframu.
Měď - grafit	Přibližně 2x dražší než grafit. Používá se pro obrábění karbidu wolframu.
Mosaz	Levný a snadno obrobitelný materiál. Z hlediska opotřebení není výhodný. V dnešní době je většinou nahrazen grafitem a mědí.
Wolfram	Použití - obrábění slinutého karbidu a výroba malých děr (menší než 0,2 mm).

Dostupné strojní zařízení ve firmě Formplast ukazují následující obrázky. Z hlediska stávajících strojů je možné říci, že proces hloubení je ve firmě na dobré úrovni a dostačující pro potřebnou výrobu.



Obr. 32 Hloubicí stroj Charmilles Roboform 550 [17].



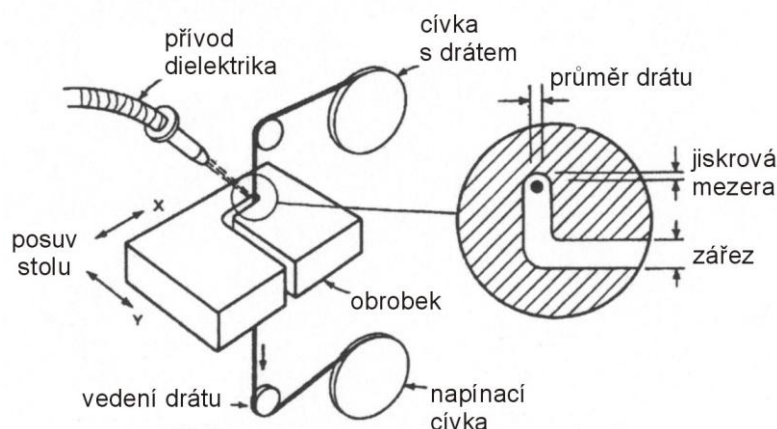
Obr. 33 Hloubicí stroj Charmilles Roboform 35P [17].



Obr. 34 Hloubicí stroj River 600 – CNC děrovač startovacích otvorů

#### 4.4.2 Elektroerozivní řezání

Fyzikální podstata i zákonitosti elektroerozivního řezání platí stejně jako u elektroerozivního hloubení. Nástrojovou elektrodu tvoří tenký drát a jeho napnutí ovlivňuje přesnost řezu. Drátová elektroda je navinuta na bubnu a postupně se odvíjí během celého procesu řezání. Tímto odpadá problém opotřebení během samotného řezu. Princip metody elektroerozivního řezání ukazuje obr. 35 [1].



Obr. 35 Princip metody elektroerozivního řezání [1]



Při řezání drátem se používají drátové elektrody o průměru 0,01 – 0,33 mm. Průměr drátu velice ovlivňuje výslednou kvalitu místa řezu. Pro jemné obrábění se používají dráty s nižším průměrem a naopak. Nejrozšířenějším materiálem pro řezací dráty je měď a mosaz, pro dráty s malým průměrem se používá molybden. Drátová eroze nalezne uplatnění při zpracování vysoce tvrdých kalených ocelí a titanových slitin. Dále pak při obrábění velmi malých součástí a součástí použitých v mikroelektronickém průmyslu [8], [9], [18].

Ve firmě Formplast se drátové řezání používá pro obrábění různých tvarových vložek a elektrod. V posledních letech, kdy se většina automobilových společností ubírá směrem světlovodů, tato metoda nachází největší uplatnění právě při řezání optických vložek nástrojů. Při výrobě nástroje pro světlovody hraje přesnost významnou roli. Důvodem je odrazivost světla ve finálním produktu – světlovodu. Dostupné strojní zázemí ukazují následující obrázky.



Obr. 36 Drátová řezačka Charmilles Robofil 290





Obr. 37 Drátová řezačka Charmilles Robofil 440

## 5 NÁVRH RACIONALIZAČNÍCH OPATŘENÍ

Jak bylo již uvedeno, tak velkou roli ve výrobě vstřikovacích forem hraje čas. Výrobci forem jsou často tlačeni ze strany zákazníka vyrobit nástroj za co nejkratší dobu.

Jednotlivé části výrobního procesu vstřikovacích forem mají v závislosti na složitosti jednotlivé formy stanoven už předem potřebný čas k jejich provedení, který se počítá při zpracování nabídky. Firma Formplast působí na trhu výroby forem a vstřikování plastů přibližně 20 let. Za tuto dobu disponuje firma rozsáhlou základnou strojních a výrobních prostředků.

Požadavky firmy na racionalizaci procesu:

- Rozvoj v oblasti tepelného zpracování jednotlivých součástí vstřikovacích nástrojů, kde firma ztrácí drahocenný čas,
- soběstačnost firmy v procesu výroby forem a nezávislost na kooperacích,
- investice nepřesahující 10.000.000,- Kč.

Omezení firmy v racionalizaci procesu:

- V současné době se společnost nechce ubírat výstavbou a pronájmem nových budov.

Nedílnou součástí procesu výroby vstřikovacích forem je tepelné zpracování požadovaných částí forem s cílem zvýšit jejich tvrdost a prodloužit jejich životnost.

Racionalizace procesu tepelného zpracování se jeví jako nejlepší možná varianta. Možným řešením je nákup vakuové kalící pece, která bude sloužit ke kalení a následnému popouštění namáhaných částí forem. Cílem je zakoupit menší kalící pec, která pomůže dosáhnout nezávislosti firmy v oblasti kalení. Tento postup se shoduje s filosofií firmy o neustálém zlepšení a zefektivnění výrobního procesu.

Po konzultaci s vedením firmy Czechmetal s.r.o. a vedením firmy Formplast Purkert s.r.o. je výběrové řízení nákupu kalící pece provedeno mezi třemi evropskými dodavateli těchto pecí – Seco/Warwick, Schmetz a Rübig. Jedním z důležitých faktorů výběru kalící pece budou její rozměry z důvodu zachování rychlé reakce na potřeby kalení při procesu výroby vstřikovacích forem.

### 5.1 Vakuová kalicí pec firmy Seco/Warwick

Seco/Warwick je polská společnost, která vznikla v roce 1985. Firma se zabývá výrobou pecí pro tepelné zpracování [22].



Obr. 38 Kalicí pec firmy Seco/Warwick [22]

Tab. 2 Základní parametry kalicí pece Seco/Warwick [22]

Rozměr topné komory	900 x 600 x 600 mm
Pracovní teplota	700°C - 1100°C
Izolace a topení	Grafit
Vakuum	$10^{-2} - 10^{-6}$ mbar
Kalicí plyn	N <sub>2</sub> , Ar, He, H <sub>2</sub>
Tlak kalicího plynu	2 – 25 bar

Největší výhodou výše zmíněné kalicí pece je její pořizovací cena, která je nižší oproti dalším srovnávaným řádově o jednotky statisíc. Jejimi nedostatky jsou složitý software pro ovládání stroje a způsob chlazení součásti, kdy na součást působí plyn ze všech stran souměrně a uprostřed vzniká vír, což je velice nepříznivé.

## 5.2 Vakuová kalicí pec firmy Schmetz

Schmetz je německá společnost, která se již od roku 1945 zabývá vývojem kalících pecí. V současné době patří firma Schmetz mezi celosvětové dodavatele kvalitních pecí pro tepelné zpracování [23], [24].



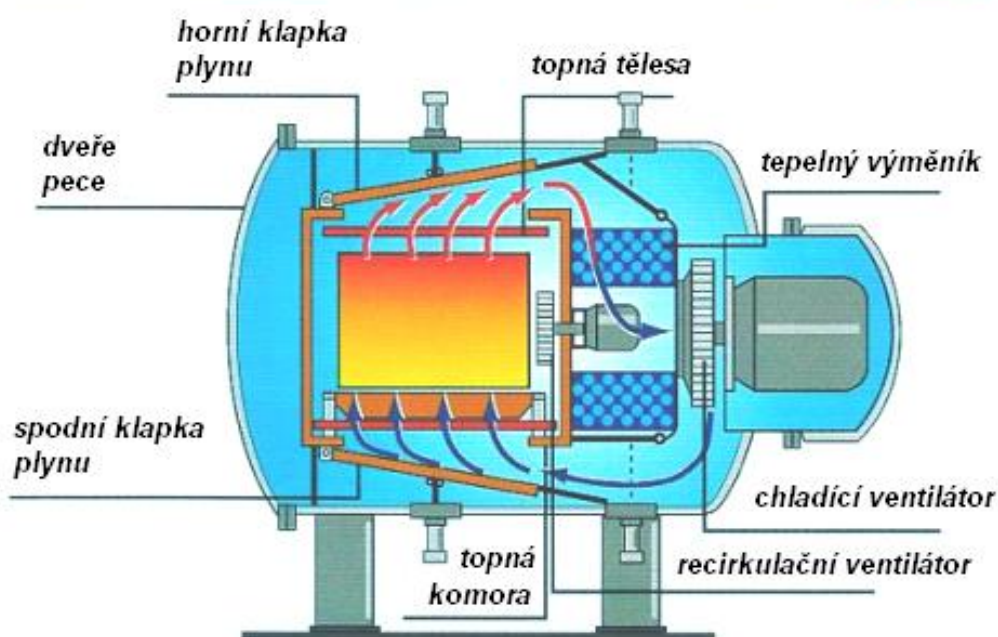
Obr. 30 Kalicí pec firmy Schmetz [23]

Tab. 3 Základní parametry kalící pece Schmetz [23], [24]

Rozměr topné komory	600 x 600 x 400 mm
Pracovní teplota	200°C - 1600°C
Izolace a topení	Grafit nebo Molybden
Vakuum	$10^{-1} - 10^{-7}$ mbar
Kalící plyn	N <sub>2</sub> , Ar, He, H <sub>2</sub>
Tlak kalícího plynu	0,9 – 20 bar

Vakuové kalicí pece německé firmy patří mezi špičky výrobců zařízení pro tepelné zpracování. V dnešní době společnost Schmetz prodává své produkty do celého světa. Mezi přednosti kalicí pece německé firmy spadá systém chlazení zahřáté součásti, který je označován „2R“. Jedná se o systém, kdy je součást chlazena střídavě ze spodní a horní části topné komory za pomoci tepelného výměníku a ventilátoru. Způsob chlazení ukazuje obr. 31 [23], [24].

### SCHMETZ SYSTEM \*2R\*



Obr. 31 Systém chlazení součásti kalicí pece Schmetz [23]

Při střídavém ochlazování součástí nedochází k tvorbě nepříznivého víru uprostřed topné komory. Proces je stabilní a součást je ochlazována rovnoměrně. Kalicí pece firmy Schmetz obsahují také jedinečný systém chlazení „Cool plus“, který umožní hned po kalení zmrazení součásti tekutým dusíkem přímo v topné komoře. Poté může nastat proces popouštění. Řídicí systém kalících pecí Schmetz je na vysoké úrovni, srozumitelný a jednoduchý pro obsluhu. Výhodou je možnost ukládání jednotlivých procesů tepelného zpracování. V případě poruchy zařízení je systém schopen sám detekovat závadu, což velice urychlí opravu pece [23], [24].

### 5.3 Vakuová kalicí pec firmy Rübig

Rübig je rakouská společnost, která vznikla již v roce 1946 jako podnik pro zpracování kovů. Od roku 1979 se zabývá vlastním kalením materiálu. Kalicí pec firmy Rübig patří k neprodávanějším zařízení pro tepelné zpracování nejen v Evropě [25].



Obr. Kalicí pec firmy Rübig [25]

Tab. 4 Základní parametry kalicí pece Rübig [25]

Rozměr topné komory	900 x 600 x 600 mm
Pracovní teplota	800°C - 1200°C
Izolace a topení	Grafit
Vakuum	$10^{-1} - 10^{-3}$ mbar
Kalicí plyn	N <sub>2</sub> , Ar, He, H <sub>2</sub>
Tlak kalicího plynu	6 – 10 bar

Kalicí pec rakouské firmy Rübig disponují stejně jako pece Schmetz systémem chlazení „2R“. Jsou vybaveny kvalitními systémy řízení se schopností detekce závady a ukládáním parametrů procesu tepelného zpracování. Kvalitou a výbavou je kalicí pec firmy Rübig přibližně na stejné úrovni jako pece Schmetz. Nevýhodou je její cena, která je vyšší řádově o několik statisíc Kč [25].

#### 5.4 Výběr varianty racionalizace procesu

Po zhodnocení jednotlivých navržených variant vedením firmy Formplast byla jako nejvýhodnější investice v racionalizaci procesu výroby vstřikovacích forem vybrána varianta nákupu vakuové kalící pece německé firmy Schmetz. Důvodem je menší rozměr kalící pece než u konkurenčních nabídek z důvodu možnosti rychlé reakce na potřeby tepelného zpracování. Dalšími faktory, které hovoří pro výběr kalící pece Schmetz, jsou: jednoduchý a zároveň kvalitní řídicí systém zařízení, chladič systém „2R“ a samozřejmě cena, která se pohybovala uprostřed nabízených variant.

Varianta nákupu kalící pece umožní zkrácení času výroby forem a tím vznikne časový prostor pro navýšení výroby forem. Jednoznačnou výhodou je nezávislost v procesu kalení a možnost okamžitě reagovat na potřeby tepelně zpracovaných součástek.

Pro realizaci vlastního pracoviště, které se bude zabývat tepelným zpracováním materiálů je potřeba učinit následující změny:

- Přizpůsobení stávajících nevyužitých prostor, které budou určeny pro instalaci vakuové kalící pece (úklid, rozvody energií, osvětlení...),
- navýšení počtu stávajících zaměstnanců k obsluze kalící pece a s tím souvisejících prací. Provoz kalící pece plánován ve dvou směnách. Toto řešení požaduje přijmutí minimálně dvou nových pracovníků.



## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení je jedním z hlavních hledisek při hodnocení návrhu racionalizace procesu. Vychází z nákladů, plánovaných zisků a návratnosti investice.

### 6.1 Náklady na racionalizaci procesu

Celkové náklady na racionalizaci procesu výroby vstřikovacích forem obnášejí nákup vlastní kalící pece, její instalaci a uvedení do provozu. Dále dopravu zařízení do firmy a ostatní náklady, které souvisí s přípravou výrobního místa pro kalící pec.

Tab. 5 Náklady pro vybranou variantu racionalizace procesu

Popis	Cena v Kč bez DPH
Vakuová kalící pec Schmetz	5.450.000,-
Příslušenství	Zahrnuto v ceně zařízení
Instalace zařízení	85.000,-
Uvedení do provozu	13.000,-
Vstupní revize	7.000,-
Doprava zařízení	45.000,-
Ostatní náklady	180.000,-
<b>Celková cena bez DPH</b>	<b>5.780.000,-</b>
DPH (21%)	1.213.800,-
<b>Celková cena s DPH</b>	<b>6.993.800,-</b>

### 6.2 Předpokládané výnosy z vybrané varianty

Z důvodu zkrácení doby tepelného zpracování jednotlivých součástí dojde ke zkrácení celkové doby potřebné ke kompletaci jednotlivých forem. V tomto případě může dojít ke zvýšení počtu celkově vyrobených forem. Zisk z tohoto navýšení výroby činí přibližně 240 000,- Kč. Počet kalených součástí použitých firmou Formplast činí přibližně 20 % kapacity navrhované kalící pece.

Po dohodě s vedením firmy je možné z celkové kapacity zařízení uvolnit cca 50% pro tepelné zpracování na zakázku. Bude zaplněno 70% celkové kapacity zařízení a zbývajících 30% bude k dispozici pro urgentní potřeby firmy Formplast, aby byl splněn původní záměr nákupu kalící pece. Při průměrné ceně tepelného zpracování 52 Kč/kg by zisk činil přibližně 900.000,- Kč.

Tab. 6 Předpokládané roční výnosy při realizaci vybrané racionalizace

Popis	Cena v Kč bez DPH
Úspora nákladů při kalení ve vlastní kalící peci	320.000,-
Předpokládaný zisk při zvýšení objemu výroby forem	240.000,-
Předpokládaný zisk při kalení na zakázku	900.000,-
Celková cena bez DPH	1.460.000,-
DPH (21%)	306.600,-
Celková cena s DPH	1.766.600,-

### 6.3 Doba návratnosti investice

Pro výpočet doby návratnosti investice použijeme vzorec:

$$DN = \frac{\sum N}{\emptyset V} \quad (6.1)$$

kde:

DN [roky] = doba návratnosti,

$\sum N$  [Kč] = celkové náklady zahrnující realizaci racionalizace,

$\emptyset V$  [Kč] = předpokládané průměrné roční výnosy.

$$DN = \frac{5.780.000}{1.460.000} = 3,95 \text{ roků}$$

Doba návratnosti plánované investice je 3 roky a 11,4 měsíců. S ohledem na výšku investice je doba návratnosti přijatelná.

## 7 DISKUZE

Výroba vstřikovacích forem je náročný proces, který u jednodušších forem trvá přibližně 10 týdnů. Už z tohoto údaje lze posoudit, že se jedná o složitý proces. Výroba formy začíná v konstrukční kanceláři, kde konstruktér dle poskytnutých dat dílu zpracuje konstrukční dokumentaci, podle které je forma vyráběna. Existují obecná pravidla pro tvorbu forem, ale z větší části konstruktér uplatňuje své získané zkušenosti z předešlých projektů, aby se co nejvíce vyvaroval potenciálních problémů při budoucím chodu nástroje.

Samotná výroba nástroje se skládá z mnoha dílčích fází, kde nejdůležitější je tvorba vlastní dutiny vstřikovací formy, která tvoří finální výlisek. V současné době v této oblasti výroby naleznou uplatnění především nekonvekční technologie elektroerozivního obrábění – hloubení a drátové řezání.

Vzhledem k dostupnému strojnímu vybavení v popisované firmě bylo stanoveno jako nejslabší místo procesu výroby forem tepelné zpracování. Tepelné zpracování je důležitou fází úpravy jednotlivých částí vstřikovacích nástrojů. S nárůstem složitosti plastových dílů roste i složitost vstřikovacích forem a počet kalených součástí.

Nákup vlastní kalící pece se jeví jako jediná možnost ke zkrácení času potřebného k výrobě nástroje. V případě nákupu kalící pece se čas určený pro tepelné zpracování součástí zkrátí přibližně na polovinu stávající doby. Největší výhodou vlastní kalící pece je nezávislost na kooperaci a v případě potřeby prakticky okamžitá reakce na požadované potřeby. V případě kalení pouze vlastních polotovarů by se návratnost investice zásadně prodloužila. Je tedy nutné využít alespoň část kapacity kalící pece pro externí zakázky. Důležité je stanovení poměru kapacity pece pro vlastní potřeby a pro externí zakázky, aby byla zachována výhoda rychlé a okamžité reakce pro potřeby firmy Formplast.

## ZÁVĚR

Vstřikování plastů se za posledních let dostalo do popředí průmyslové výroby po celém světě. Velká část plastových výrobků končí především v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu. Nejpoužívanější technologií pro zpracování plastů je vstřikování. Jedním ze základních prvků procesu výroby plastových výrobků je vstřikovací forma, která dává plastovému dílu finální tvar.

Diplomová práce popisuje proces vstřikování plastů s rozбором jednotlivých částí procesu, vstřikovací stroje a vstřikovací nástroje (formy). Dále jsou popsány důležité fáze výroby vstřikovacích forem, kam se řadí frézování. Z nekonvenčních technologií jsou hlavními představiteli elektrojiskrové obrábění a elektrojiskrové drátové řezání.

- Hlavním úkolem projektu bylo vytipování slabých míst ve výrobním procesu. Přestože modelová firma působí na trhu výroby forem až od roku 1992, disponuje dostačujícím a kvalitním strojním vybavením pro konstrukci, výrobu a lisování vstřikovacích forem,
- nejslabším místem ve výrobním procesu je tepelné zpracování jednotlivých součástí nástrojů, které je momentálně prováděno pomocí kooperací především ve firmě Czechmetal s.r.o. Tento způsob kooperace není v souladu se stále se stupňujícím tlakem na výrobce forem na zkrácení doby výroby vstřikovacích forem,
- poslední část práce je věnována výběru vhodné vakuové kalící pece s přihlédnutím na požadované parametry zařízení a jeho pořizovací cenu. Výběr byl proveden mezi třemi evropskými výrobci kalících pecí. Dále bylo provedeno ekonomické zhodnocení vybrané varianty racionalizace procesu výroby vstřikovacích forem.

Dle provedeného hodnocení lze říci, že plánové investice s ohledem na dobu návratnosti jsou přijatelné.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. Pedagogická fakulta MU. Keramika, kompozity, polymery [online]. 2005 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z : [www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm](http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm).
2. Polmery [online]. 2010 [cit. 2014-04-20].  
Dostupné z: [www.ateam.zcu.cz/download/Polymery\\_2010.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf)
3. MÍŠEK, Bohumil. Polymery, keramika, kompozity. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1993. 155 s. ISBN 80-214-0521-x.
4. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
5. Katedra strojírenské technologie [online]. 2005 [cit 2014-04-28]. Dostupné z: [www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)
6. Engelglobal [online]. 2011 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.engelglobal.com/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>
7. NEUHÄUSL, Emil, ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů – teorie a praxe. 119 s.
8. KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2001. 270s. ISBN: 80-214-1996-2.
9. HUMÁR, Antonín. Výrobní technologie II [online]. Studijní opory pro podporu samostudia. VUT v Brně, FSI, 2002. 84 s. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://www.ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie\\_II.pdf](http://www.ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobníTechnologie_II.pdf).
10. Hermle [online]. 2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.pumaktrading.com/en/macchine-nuove/centri-di-lavorazione-hermle-mod-c-40-la-soluzione-dinamica/>
11. VCE [online]. 2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.gfms.com/content/gfac/com/en/Products/Milling/standard-machining-centers/vce-machine-line/mikron-vce-1600-pro.html>
12. Mikron [online]. 2010 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.techspex.com/machining-centers/agie-charmilles%282637%29/4882>
13. KRAUS, Václav. Tepelné zpracování a slinování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999, 274 s. ISBN 80-708-2582-0.
14. LUDĚK, Ptáček. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-7204-283-1.

15. ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění. MM Průmyslové spektrum [online]. 2007, č. 7 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/nekonecnimetry-obrabeni](http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecnimetry-obrabeni).
16. MAŇKOVÁ, Ildikó. Pogresívne technologie : Advanced methods of material removal. Košice : Vienala, 1999. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
17. Roboform [online]. 2012 [cit. 2014-05-10].  
Dostupné z: [www.tfm.at/t3/index.php?id=142](http://www.tfm.at/t3/index.php?id=142)
18. Pogresivní řešení konstrukce elektrod [online]. 2008 [cit. 2014-04-18].  
Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/pogresivni-reseni-konstrukce-elektrod-pro-nastrojarny.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/pogresivni-reseni-konstrukce-elektrod-pro-nastrojarny.html)
19. KANDUS, Bohumil. Technologie zpracování plastů (HTZ). Přednášky a cvičení. Odbor technologie tváření kovů a plastů, Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství VUT Brno. 2012.
20. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
21. Arburg [online]. 2009 [cit. 2014-05-02].  
Dostupné z: [www.arburg.com/cs/cz/company](http://www.arburg.com/cs/cz/company)
22. Secowarwick [online]. 2013 [cit. 2014-05-10].  
Dostupné z: [www.secowarwick.com/en/products/vacuum-heat-treatment](http://www.secowarwick.com/en/products/vacuum-heat-treatment)
23. Schmetz [online]. 2013 [cit. 2014-05-11].  
Dostupné z: [www.schmetz.de/-Type-I](http://www.schmetz.de/-Type-I)
24. Ecosond [online]. 2010 [cit. 2014-05-11].  
Dostupné z: [www.ecosond.cz/schmetz.html](http://www.ecosond.cz/schmetz.html)
25. Rubig [online]. 2012 [cit. 2014-05-10].  
Dostupné z: [www.rubig.com/index.cfm?seite=vakuumhaerten-ht](http://www.rubig.com/index.cfm?seite=vakuumhaerten-ht)
26. Formplast [online]. 2012 [cit. 2014-05-14].  
Dostupné z: [www.formplast.cz/index.php/cz/o-nas/vybaveni](http://www.formplast.cz/index.php/cz/o-nas/vybaveni)

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Legenda
$a_p$	[mm]	šířka záběru ostří
$B$	[mm]	šířka frézované plochy
$f_z$	[mm]	posuv na zub
$H$	[mm]	hloubka odebírané vrstvy
$K_v$	[-]	faktor využití času
$N$	[ks]	velikost výrobní série
$n_T$	[ks]	násobnost formy
$p_i$	[MPa]	vnitřní tlak
$p_z$	[MPa]	zbytkový tlak při otevírání formy
$s_n$	[mm]	pohyb formy
$s_s$	[mm]	pohyb šneku
$T_f$	[°C]	teplota viskózního toku
$T_g$	[°C]	teplota skelného přechodu
$T_m$	[°C]	teplota tání
$T_p$	[hod]	požadovaný termín dodání
$t$	[sec]	čas 1
$t_1$	[sec]	čas 2
$t_c$	[sec]	celkový čas vstřikování
$t_d$	[sec]	doba dotlaku
$t_{ch}$	[sec]	doba chlazení
$t_m$	[sec]	doba otevření formy
$t_{pl}$	[sec]	doba plastikace
$t_{s1}$	[sec]	doba uzavírání formy
$t_{s2}$	[sec]	doba přisouvání vstřikovací jednotky
$t_{s3}$	[sec]	doba otevírání formy
$t_v$	[sec]	doba vstřikování
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$v_f$	[mm/min]	posuvová rychlost
$\gamma$	[sec <sup>-1</sup> ]	rychlost smykové deformace
$\varepsilon$	[-]	deformace
$\varepsilon_0$	[-]	deformace v čase $t_1$
$\varepsilon_1$	[-]	okamžitá pružná deformace
$\varepsilon_2$	[-]	zpožděná pružná deformace
$\varepsilon_3$	[-]	trvalá deformace vzniklá viskózním tečením
$\eta$	[Pa·sec]	dynamická viskozita
$\sigma$	[MPa]	napětí
$\sigma_0$	[MPa]	napětí v čase $t_1$
$\tau$	[MPa]	smykové napětí



